



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA

Y REDES DE COMUNICACIÓN

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

TEMA

**ESTUDIO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO PARA EL SERVICIO DE
ACCESO INALÁMBRICO FIJO (FWA) DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DE
TELECOMUNICACIONES DEL ECUADOR, PROYECTADO EN REDES DE
QUINTA GENERACIÓN (5G)**

AUTORA: DIANA CAROLINA CHÁVEZ SÁNCHEZ

DIRECTOR: MSC. JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN

IBARRA- ECUADOR

2020



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| | |
|------------------------------------|---|
| DATOS DEL CONTACTO | |
| Cédula de identidad | 100321852-4 |
| Apellidos y nombres | Chávez Sánchez Diana Carolina |
| Dirección | San Roque – Agualongo de Paredes – Calle Principal S/N |
| E-mail | dcchavez@utn.edu.ec |
| Teléfono móvil | 0998704907 |
| Teléfono Fijo | 062900246 |
| DATOS DE LA OBRA | |
| TÍTULO: | ESTUDIO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO PARA EL SERVICIO DE ACCESO INALÁMBRICO FIJO (FWA) DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DEL ECUADOR, PROYECTADO EN REDES DE QUINTA GENERACIÓN (5G) |
| AUTOR: | Diana Carolina Chávez Sánchez |
| FECHA | 12 de marzo del 2020 |
| SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO | |
| PROGRAMA | <input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO |
| TÍTULO | Ingeniera en Electrónica y Redes de Comunicación |
| DIRECTOR | Ing. Jaime Roberto Michilena Calderón, MSc. |

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que sume la responsabilidad sobre contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 12 de marzo del 2020

EL AUTOR:



Diana Carolina Chávez Sánchez

100321852-4

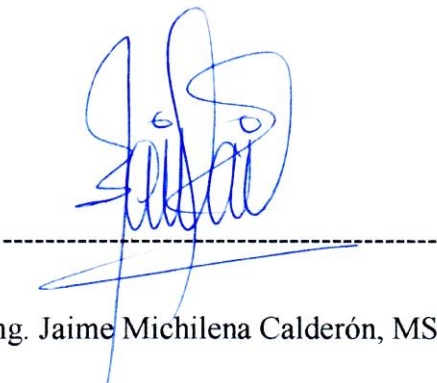
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

MAGISTER JAIME MICHILENA CALDERÓN, DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA:

Que, el presente trabajo de Titulación “ESTUDIO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO PARA EL SERVICIO DE ACCESO INALÁMBRICO FIJO (FWA) DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DEL ECUADOR, PROYECTADO EN REDES DE QUINTA GENERACIÓN (5G)”. Ha sido desarrollado por la Señorita Diana Carolina Chávez Sánchez, bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor de la verdad.



Ing. Jaime Michilena Calderón, MSc.

CC:100219843-8

DIRECTOR

III

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación va dedicado a las personas más importantes de mi vida, ya que con su voz de aliento me dieron fuerza para seguir adelante.

A mis padres Fanny y Jairo, por siempre estar a mí lado en cada instante, ya que con su ejemplo de amor, dedicación, fuerza, paciencia y constancia, han forjado la persona que hoy en día soy, demostrándome que no hay meta imposible por cumplir.

A mis hermanas Jioconda, Yajaira y Ximena, por ser las compañeras de juego, risotadas, disgustos y sobre todo de apoyo incondicional en cada momento, incluso en los de locura, siendo ellas uno de los pilares fundamentales en mi vida, porque con cada una de sus múltiples cualidades han sido un ejemplo de mucho amor y fuerza para cada día seguir adelante.

A mis sobrinos Jocelyn, Sabrina, Jairo, Jhosua, Melany y Angela, mis pequeños grandes diablillos, que cada uno con su forma de ser y a su manera, me han motivado a continuar, y con esto decirles que ustedes son los responsables de forjar sus metas, lleguen tan lejos como quieran llegar, siempre en paz y felices.

A todos aquellos que con su confianza pusieron su granito de arena para que esta meta se cumpla.

Diana Carolina Chávez Sánchez

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios y a la vida por darme la oportunidad de cada día seguir adelante y permitirme cumplir un objetivo más en mi vida, en compañía de buenas personas.

A mis padres, mis hermanas y sobrinos; por su amor y apoyo incondicional en cada una de mis decisiones.

A los buenos amigos, de manera especial Ronny, por ser el amigo, compañero y confidente.

A mi familia, que de una u otra manera siempre ha estado presente, en este proceso.

A mi tutor, MSc. Jaime Michilena, por su tiempo, su buena predisposición y sobre todo la guía adecuada para la elaboración de este proyecto.

A la Corporación Nacional de Telecomunicaciones, por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto, de manera especial a la Gerencia de Interconexión y Relaciones Mayoristas; y al Jefatura Técnica de Imbabura, MSc Roberto Marcillo.

A mis revisores, MSc. Vladimir García y MSc Carlos Andrade, por brindarme la oportunidad de cumplir este objetivo mediante su guía.

Diana Carolina Chávez Sánchez

INDICE

Tabla de contenido

| | |
|---|-----|
| AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE..... | I |
| CERTIFICACIÓN..... | III |
| DEDICATORIA..... | IV |
| AGRADECIMIENTOS..... | V |
| 1. CAPITULO I..... | 1 |
| PRESENTACIÓN DEL PROYECTO | 1 |
| 1.1 Tema | 1 |
| 1.2 Problema | 1 |
| 1.3 Objetivos..... | 3 |
| 1.3.1 Objetivo general..... | 3 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 4 |
| 1.4 Alcance | 4 |
| 1.5 Justificación | 6 |
| 2. CAPITULO II..... | 9 |
| FUNDAMENTO TEÓRICO..... | 9 |
| 2.1 Redes de Acceso | 9 |
| 2.2 Redes Cableadas o Guiadas | 10 |
| 2.3 Redes Inalámbricas | 11 |
| 2.3.1 Clasificación de las Redes Inalámbricas..... | 12 |
| 2.3.1.1 Tecnología de Comunicación Punto a Punto P-P..... | 13 |
| 2.3.1.2 Tecnología de Comunicación Punto a Multipunto PPM | 14 |
| 2.4 Acceso Inalámbrico Fijo (FWA) | 14 |

| | |
|--|----|
| 2.4.1 Sistemas de Acceso Inalámbrico Fijo | 16 |
| 2.4.2 Arquitectura de red para FWA..... | 16 |
| 2.4.2.1 La Unidad del Suscriptor Fija (FSU). | 17 |
| 2.4.2.2 Interfaz Inalámbrica | 18 |
| 2.4.2.3 Estación Radio Base RBS | 18 |
| 2.4.3 Descripción de la operación de FWA | 19 |
| 2.4.3.1 Lazo Local Inalámbrico WLL | 19 |
| 2.4.3.2 Sistema de Distribución Local Multipunto LMDS | 20 |
| 2.4.3.3 Sistema Multicanal de Distribución por Microondas MMDS | 20 |
| 2.4.4 Frecuencias de los Sistemas FWA | 20 |
| 2.5 Técnicas de Duplexación | 22 |
| 2.5.1 Duplexación por División de Frecuencia FDD..... | 22 |
| 2.5.2 Duplexación por División de Tiempo TDD | 23 |
| 2.6 Evolución de la red de comunicación móvil..... | 24 |
| 2.6.1 Red de Primera Generación 1G | 24 |
| 2.6.2 Red de Segunda Generación 2G | 24 |
| 2.6.3 Red de Tercera Generación 3G..... | 25 |
| 2.6.4 Red de Cuarta Generación 4G | 25 |
| 2.6.5 Red de Quinta Generación (5G) | 26 |
| 2.6.6 Bandas de frecuencias para 5G | 27 |
| 2.6.7 Topología de la red 5G | 27 |
| 2.6.7.1 Non-Standalone NSA | 28 |

| | |
|---|----|
| 2.6.7.2 Standalone SA..... | 28 |
| 2.6.8 Modelos de Propagación..... | 28 |
| 2.6.8.1 Modelo de Okumura-Hata | 29 |
| 2.6.8.2 Modelo de Cost Hata | 29 |
| 2.6.9 Redes FWA para 5G | 29 |
| 3. CAPITULO III | 31 |
| SITUACIÓN ACTUAL | 31 |
| 3.1 Marco Regulatorio | 31 |
| 3.1.1 Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) | 31 |
| 3.1.2 Artículos de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones | 32 |
| 3.1.3 Artículos del Reglamento de Títulos Habilitantes de Telecomunicaciones y Frecuencias | 32 |
| 3.1.4 Plan Nacional de Frecuencias | 33 |
| 3.2 Asignación y Distribución del Espectro Radioeléctrico | 33 |
| 3.2.1 Asignación del Espectro Radioeléctrico en América Latina | 33 |
| 3.2.2 Situación del Ecuador en la asignación del espectro radioeléctrico | 35 |
| 3.2.3 Asignación de frecuencias para la CNT EP | 36 |
| 3.3 Situación actual implementación FWA sobre 5G en otros países | 38 |
| 3.3.1 Zona Asia Pacífico..... | 39 |
| 3.3.2 Norteamérica..... | 40 |
| 3.3.3 Europa..... | 44 |
| 3.4 Estatus de la evolución de las redes 5G en el Ecuador | 45 |

| | |
|---|----|
| 3.5 Caso de estudio de la investigación | 46 |
| 3.5.1 Condiciones actuales de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP en la zona de influencia..... | 46 |
| 3.5.2 Situación actual de la parroquia La Esperanza perteneciente al cantón Ibarra..... | 47 |
| 4. CAPÍTULO IV | 51 |
| DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN | 51 |
| 4.1 Análisis del Espectro Radioeléctrico de la CNT para FWA..... | 51 |
| 4.1.1 Pruebas Base 5G de la CNT en Cuenca..... | 53 |
| 4.2 Aspectos tecnológicos requeridos para la implementación del servicio FWA sobre la tecnología 5G | 55 |
| 4.2.1 Aspecto de Acceso..... | 56 |
| 4.2.2 Aspectos de Core | 57 |
| 4.3 Herramienta de simulación y predicción ATOLL | 59 |
| 4.3.1 Características principales | 59 |
| 4.4 Análisis de cobertura en la parroquia “La Esperanza” de la provincia de Imbabura..... | 61 |
| 4.4.1 Análisis banda 700MHZ..... | 63 |
| 4.4.2 Análisis banda 3.5 GHz | 68 |
| 4.4.3 Análisis banda 24 GHz | 72 |
| 5. CAPITULO V | 77 |
| PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN Y ASIGNACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO | 77 |
| 5.1 Propuesta de distribución y asignación del espectro radioeléctrico | 77 |

| | |
|--|-----|
| 5.2 Análisis de clientes en la parroquia “La Esperanza” | 83 |
| 5.3 Propuesta de distribución y asignación del espectro radioeléctrico | 85 |
| 5.4 Proceso de solicitud para asignación de espectro radioeléctrico y uso frecuencias para la empresa pública | 86 |
| 6. CAPITULO VI | 91 |
| 6.1 CONCLUSIONES | 91 |
| 6.2 RECOMENDACIONES..... | 93 |
| REFERENCIAS | 99 |
| ANEXOS | 111 |
| Anexo A: Reporte de Initial Tunning de Pruebas FWA en 5G de la CNT en Cuenca. | 111 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----------|
| <i>Figura 1 Diagrama de Red de Acceso</i> | <i>9</i> |
| <i>Figura 2 Esquema de una red cableada</i> | <i>10</i> |
| <i>Figura 3 Esquema de una red inalámbrica</i> | <i>11</i> |
| <i>Figura 4 Clasificación de las redes inalámbricas</i> | <i>13</i> |
| <i>Figura 5 Sistema de comunicación P-P.....</i> | <i>13</i> |
| <i>Figura 6 Sistema de Comunicación PPM.....</i> | <i>14</i> |
| <i>Figura 7 Arquitectura FWA.....</i> | <i>17</i> |
| <i>Figura 8 Duplexación por división de frecuencia</i> | <i>23</i> |
| <i>Figura 9 Duplexación por división de tiempo</i> | <i>23</i> |
| <i>Figura 10 Beneficios de la red de quinta generación.....</i> | <i>26</i> |
| <i>Figura 11 Modos de Funcionamiento SA y NSA</i> | <i>28</i> |
| <i>Figura 12 Asignación del espectro radioeléctrico en América Latina</i> | <i>34</i> |
| <i>Figura 13 Asignación de Frecuencias CNT EP.....</i> | <i>37</i> |
| <i>Figura 14 Terminales de Verizon 5G MiFi M1000 y el enrutador 5G Home</i> | <i>41</i> |
| <i>Figura 15 Equipo para 5G FWA, marca NETGEAR.....</i> | <i>43</i> |
| <i>Figura 16 Actividad Económica en la Parroquia la Esperanza</i> | <i>48</i> |
| <i>Figura 17 Ubicación geográfica de la Radio Base LA ESPERANZA (3G) de la CNT EP</i> | <i>49</i> |
| <i>Figura 18 Drive Test Centro de Cuenca.....</i> | <i>54</i> |
| <i>Figura 19 Red Acceso para FWA</i> | <i>56</i> |
| <i>Figura 20 Red Core 4G/5G SA para FWA</i> | <i>57</i> |
| <i>Figura 21 Terminales de datos FWA IDU y ODU</i> | <i>58</i> |
| <i>Figura 22 Pantalla principal Software ATOLL.....</i> | <i>60</i> |
| <i>Figura 23: Mapa de la Parroquia La Esperanza</i> | <i>62</i> |
| <i>Figura 24: Características de la Antena en 700MHZ</i> | <i>63</i> |
| <i>Figura 25: Lóbulos de radiación Horizontal.....</i> | <i>64</i> |
| <i>Figura 26: Lóbulos de radiación Vertical</i> | <i>64</i> |
| <i>Figura 27: Propiedades del modelo de propagación Okumura Hata</i> | <i>65</i> |
| <i>Figura 28: Descripción Fórmula del modelo de propagación Okumura Hata</i> | <i>66</i> |

| | |
|--|----|
| <i>Figura 29: Modelo de propagación Okumura Hata en banda 700 MHz para la parroquia “La Esperanza”</i> | 67 |
| <i>Figura 30: Cantidad de terreno cubierto con niveles buenos de cobertura</i> | 67 |
| <i>Figura 31: Características de la Antena en 3.5 GHz</i> | 68 |
| <i>Figura 32: Lóbulos de radiación Horizontal</i> | 69 |
| <i>Figura 33: Lóbulos de radiación Vertical</i> | 69 |
| <i>Figura 34: Propiedades del modelo de propagación Cost Hata</i> | 70 |
| <i>Figura 35: Fórmula del modelo de propagación Cost Hata</i> | 71 |
| <i>Figura 36: Modelo de propagación Cost Hata en banda 3.5 GHz para la parroquia “La Esperanza”</i> | 71 |
| <i>Figura 37: Cantidad de terreno cubierto con niveles buenos de cobertura para la banda 3.5 GHz ...</i> | 72 |
| <i>Figura 38. Características de la Antena en 24 GHz</i> | 73 |
| <i>Figura 39. Lóbulos de radiación Horizontal</i> | 73 |
| <i>Figura 40. Lóbulos de radiación Vertical</i> | 74 |
| <i>Figura 41. Propiedades del modelo de propagación Cost Hata</i> | 75 |
| <i>Figura 42. Fórmula del modelo de propagación Cost Hata</i> | 75 |
| <i>Figura 43. Modelo de propagación Cost Hata en banda 24 GHz para la parroquia “La Esperanza”</i> | 76 |
| <i>Figura 44 Cálculo de cantidad de usuarios en la banda de 700MHz.</i> | 80 |
| <i>Figura 45 Cálculo de cantidad de usuarios en la banda de 3.5 GHz.</i> | 81 |
| <i>Figura 46 Cálculo de cantidad de usuarios en la banda de 24 GHz.</i> | 82 |
| <i>Figura 47 Cálculo de cantidad de usuarios en la banda de 3.5 GHz. con 50 MHz de banda</i> | 83 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| <i>Tabla 1</i> Aplicaciones y Características de Bandas de Frecuencia para FWA | 21 |
| <i>Tabla 2</i> 5G FWA bandas de frecuencia | 30 |
| <i>Tabla 3</i> Superficie, población y densidad poblacional de la parroquia La Esperanza | 50 |
| <i>Tabla 4</i> Asignación de frecuencias CNT EP en 700MHz y 3.5GHz | 51 |
| <i>Tabla 5:</i> Acciones para la asignación del espectro radioeléctrico de la CNT | 52 |
| <i>Tabla 6</i> Velocidades en downlink alcanzadas con estaciones 5G implementadas en Cuenca. | 54 |
| <i>Tabla 7</i> Velocidades en uplink alcanzadas con estaciones 5G implementadas en Cuenca. | 55 |
| <i>Tabla 8</i> Premisas sobre las predicciones de cobertura en las bandas de 700MHz, 3.5GHz y 24GHz. 78 | |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|---|----|
| <i>Ecuación 1:</i> Proyección Poblacional | 50 |
| <i>Ecuación 2</i> Densidad Poblacional..... | 50 |

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se enfoca en desarrollar una propuesta de distribución y asignación del espectro radioeléctrico para la red 5G de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT, enfocado a brindar el servicio de acceso inalámbrico fijo FWA, considerando los objetivos estratégicos de la empresa y en base a los requerimientos mínimos de la regulación vigente para la asignación de frecuencias.

Es así que para el desarrollo de esta investigación se han considerado los parámetros fundamentales para brindar el servicio de FWA basada en 5G. Además de analizar la el desarrollo de esta tecnología en los países que ya tengan situaciones de éxito en la aplicación de 5G tanto en FWA como en servicio móvil, y de considerar el acceso de las bandas de espectro las que han trabajado.

La CNT con el afán de disponer una base de análisis para el despliegue de FWA en una zona rural característica por su topografía y con una interesante demanda de servicios de telecomunicaciones, toma como referencia a la parroquia “La Esperanza” del Cantón Ibarra provincia de Imbabura, para el análisis espectral para 5G FWA, para ello se realizó simulaciones con la herramienta ATOLL, en las frecuencias de 700MHz, 3,5GHz y 24 GHz. Determinando que el mejor rango a usar es el de 3,5GHz por los resultados obtenidos en las simulaciones en cuanto a cobertura, cantidad de usuarios, disponibilidad de equipos y velocidad.

ABSTRACT

This research work focuses on developing a proposal for distribution and allocation of the radio spectrum for the 5G network of the National Telecommunications Corporation CNT, focused on providing the FWA fixed wireless access service, considering the strategic objectives of the company and in based on the minimum requirements of the current regulation for frequency assignment.

Thus, for the development of this research, the fundamental parameters to provide the FWA service based on 5G have been considered. In addition to analyzing the development of this technology in countries that already have situations of success in the application of 5G in both FWA and mobile service, and consider the access of the spectrum bands that have worked.

The CNT with the desire to provide an analysis base for the deployment of FWA in a rural area characterized by its topography and with an interesting demand for telecommunications services, takes as reference the parish “La Esperanza” of the Canton Ibarra province of Imbabura , for the spectral analysis for 5G FWA, for this, simulations were performed with the ATOLL tool, at the frequencies of 700MHz, 3.5GHz and 24 GHz. Determining the best range to use is 3.5GHz by the results obtained in simulations in terms of coverage, number of users, equipment availability and speed.

1. CAPITULO I

PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

En este capítulo se describe las bases para el desarrollo del presente trabajo de titulación, siendo éstos: el tema, el problema, los objetivos tanto general como los específicos, el alcance y la justificación.

1.1 Tema

ESTUDIO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO PARA EL SERVICIO DE ACCESO INALÁMBRICO FIJO (FWA) DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DEL ECUADOR, PROYECTADO EN REDES DE QUINTA GENERACIÓN (5G)

1.2 Problema

El MINTEL en el marco de la Estrategia Ecuador Digital, ha suscrito la Política de Espectro, la cual permitirá enrumbar el país hacia la transformación digital y sentar las bases para el ingreso a la tecnología 5G, inicialmente enfocada en mejorar el Servicio Móvil Avanzado (SMA) a través de mayores velocidades en relación al 4G. Así mismo, el 18 de julio de 2019 se realizaron simulaciones en vivo con esta tecnología en la banda 3.5GHz, por lo que el Ministerio de Telecomunicaciones indica que contribuirá a romper las barreras geográficas brindando un mayor acceso. (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, 2019).

En Ecuador, bajo la premisa antes descrita los operadores móviles han expresado su interés para el desarrollo de ésta tecnología, e incluso se han realizado pruebas con Huawei y Nokia, lo cual permitirá una evolución en la prestación de servicios en el país. Sin embargo, aún existen limitantes respecto a terminales y desarrollo de políticas

regulatorias, uno de estos problemas es que para el despliegue de esta tecnología es necesario realizar la liberación de las bandas que se asignen a 5G tanto para el FWA como para el SMA, así como también depende de definiciones de organizaciones internacionales. Con respecto al desarrollo de terminales todavía existe una pugna entre países como EEUU y China por determinar cuáles serán los proveedores de estos dispositivos. (REDACCIONES GRANAS, 2019).

Para los operadores de telecomunicaciones, especialmente para la CNT EP es de su interés investigar respecto al FWA sobre 5G según lo manifestado mediante el Oficio No.GNRI-GITX-2019-2420, como una alternativa complementaria al servicio de banda ancha fijo brindado por la CNT EP a través de la actual tecnología FTTH (GPON), ya que no ha sido posible satisfacer las demandas de ágil expansión y de tráfico de sus clientes en zonas urbano marginales y rurales, sea por los costos de inversión, operación y mantenimiento de una red que son mayores en estas zonas en comparación a las zonas urbanas. Con estos antecedentes locales, el problema identificado corresponde a la necesidad de una creciente demanda de conectividad y de capacidad de ancho de banda, que para el caso de áreas suburbanas y rurales se vuelve más complejo debido a que la instalación de cableados y demás elementos estructurales físicos que demandan mayores inversiones que representan altos costos, por lo cual resulta un reto para CNT EP cursar altos niveles de tráfico de datos, ya sea por nuevas aplicaciones como el Internet de las cosas (IoT), transporte inteligente o por requerimientos que demanden banda ancha de ultra velocidad.

Además de la demanda de los usuarios finales del servicio, es importante considerar que existen empresas de diversas líneas de negocio que al momento realizan proyectos que requieren conectividad para ofrecer a sus clientes seguridad, monitoreo y seguimiento las cuales requieren capacidades de ancho de banda superiores a las

actuales ofertadas en el mercado. Por este motivo es importante investigar los avances que se están presentando en el desarrollo de la tecnología 5G para los servicios de acceso inalámbrico fijo (FWA), así como también investigar respecto a la realidad y condiciones existentes de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP, y la factibilidad de la empresa pública para implantar este servicio sobre la tecnología 5G.

En vista de esto, la CNT EP enfrenta desafíos tanto en costos como en infraestructura para el soporte de la creciente demanda de capacidad de transmisión de datos en zonas de difícil acceso, para lo cual una posibilidad de brindar estos servicios es a través de acceso inalámbrico fijo 5G (5G FWA), conservando los beneficios de servicio de banda ancha fijo brindado por la CNT EP a través de la actual tecnología FTTH (GPON), pero con mayor ancho de banda y menor costo, a través del uso de nuevas bandas de frecuencia, a fin de optimizar tiempos de despliegue de red, brindar facilidades de acceso para conexión a los usuarios, y principalmente realizar el análisis del espectro radioeléctrico que se requiere para la implementación de estos servicios de quinta generación. Es por este motivo que dentro de este estudio se pretende concluir que bandas son factibles utilizar para brindar el servicio de FWA basada en 5G, a través de una investigación basada en la metodología comparativa y el método de la modelación al emplear un software de diseño y optimización de redes inalámbricas para el análisis de cobertura y velocidades.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Presentar una propuesta de distribución y asignación del espectro radioeléctrico para el servicio de acceso inalámbrico fijo (FWA), a través del análisis de las simulaciones de frecuencias considerando la distribución de frecuencias de la ARCOTEL, y

proyectado en redes de quinta generación (5G) para la Corporación Nacional de Telecomunicaciones del Ecuador.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar los aspectos fundamentales y teóricos relacionados tanto de FWA como de 5G.
- Diagnosticar la situación actual de la distribución del espectro radioeléctrico en el Ecuador
- Detallar la asignación del espectro radioeléctrico concesionado a la CNT EP.
- Determinar las necesidades espectrales para el servicio de acceso inalámbrico fijo (FWA) bajo la tecnología 5G en Ecuador.
- Diseñar una propuesta de asignación del espectro radioeléctrico mediante el análisis de las simulaciones de frecuencias para el servicio de acceso inalámbrico fijo (FWA), basada en la red 5G para la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP.

1.4 Alcance

En este trabajo de titulación se realizará una propuesta sobre la asignación del espectro radioeléctrico, para que la CNT EP pueda brindar el servicio de acceso inalámbrico fijo (FWA), sobre la red 5G, la cual podrá utilizar esta base de investigación, para el pedido de espectro radioeléctrico al ente rector ARCOTEL, a través del proceso definido dentro de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, capítulo II, Uso y Explotación del Espectro Radioeléctrico y su reglamento. (GOBIERNO DEL ECUADOR, 2015)

Dentro de esta propuesta, para el análisis se utilizará la herramienta Atoll versión 3,2 para incluir los mapas de cobertura que se alcanzaría con determinadas

bandas de frecuencia; donde se ubicará la información de antenas a utilizar, parámetros de calidad dependiendo del servicio, y velocidades que se pretenden alcanzar, dentro de la zona rural de la parroquia La Esperanza del cantón Ibarra, lo cual permitirá determinar las bandas de frecuencia de mejor beneficio para los planes de expansión y objetivos estratégicos de la CNT EP, para lo cual se realizará una simulación en una frecuencia baja (700 MHz), media (3,5GHz) y una alta (24Ghz), en concordancia a las implementaciones de otros países y requerimiento de la CNT EP.

Parte del estudio, es conocer la situación actual de la asignación y distribución del espectro radioeléctrico que tiene la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP concesionado por parte de ARCOTEL, y partir de esto verificar si para el objetivo de brindar el servicio de FWA sobre 5G se requiere de bandas adicionales.

Dentro del análisis que se realizará, se estudiarán además las implementaciones que ya se han llevado a cabo en otros países que presentan similares características al escenario ecuatoriano, y que podría ser una pauta para el desarrollo del estudio, y se analizarán las similitudes y diferencias que se tienen con respecto al mercado ecuatoriano.

Es importante indicar que el desarrollo de este proyecto se limita a elaborar una propuesta de distribución y asignación del espectro radioeléctrico para la red 5G para la CNT EP, enfocada en brindar el servicio de acceso inalámbrico fijo (FWA), enmarcado en los objetivos estratégicos de esta empresa, en base a los requerimientos mínimos de la regulación vigente para la asignación de frecuencias.

1.5 Justificación

La Constitución de la República del Ecuador, en su artículo 16, manifiesta el derecho al acceso universal a las tecnologías de información y comunicación, así como al acceso en igualdad de condiciones al uso de frecuencias del espectro radioeléctrico (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2019).

El MINTEL por su parte fomentará la licitación de espectro para la masificación de 4G y despliegue de 5G, impulsando tecnologías emergentes como Internet de las cosas y Big Data (MINTEL, 2019).

La CNT EP, dentro de sus perspectivas empresariales, tiene como objetivos estratégicos incrementar la cobertura y la base de clientes en todas las líneas de negocio de la empresa, e incrementar el acceso a los ciudadanos a los servicios que brinda la empresa pública, tomando en cuenta la planificación territorial. (CNT, Corporativo CNT EP, 2017 - 2021)

Por otra parte, el avance tecnológico en el desarrollo de nuevas soluciones que permitan brindar mayores anchos de banda a los usuarios, enfocados al mejoramiento de la calidad de vida, ha presentado desafíos a los operadores de telecomunicaciones que requieren satisfacer estas necesidades. En ese sentido, es necesario analizar alternativas de solución que permitan manejar estos tráficos dentro de la red pero con costos asequibles.

Para esto, una de las alternativas que la CNT EP ha considerado para manejar la necesidad de capacidad y disminuir costos de instalación y operación dentro de la red, es la utilización de FWA en 5G, con la finalidad de ofrecer a los clientes un servicio de banda ancha rápido y asequible con un rendimiento muy alto, mayores velocidades de

descarga y baja latencia, pudiendo llegar a zonas que actualmente no tienen cobertura de internet.

Este proyecto dará como resultado una propuesta de distribución y asignación del espectro radioeléctrico para la utilización de servicios de acceso inalámbrico fijo FWA en 5G en Ecuador, de manera específica para la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP, que dentro de sus objetivos estratégicos se encuentra incrementar su cobertura y el acceso a los ciudadanos a los servicios que brinda la empresa.

Finalmente, como área de telecomunicaciones es relevante aportar con recomendaciones a la CNT EP para el desarrollo de FWA bajo la red 5G en el Ecuador, así como también se presenta beneficios con fines académicos para la investigación del servicio FWA sobre la tecnología 5G.

2. CAPITULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

En este capítulo se describe el fundamento teórico para el desarrollo de la presente investigación, referente a definir conceptos inherentes en la misma, tales como redes de acceso, redes inalámbricas, que se utiliza para brindar los servicios de Acceso Inalámbrico Fijo (FWA), así como también descripción de las redes de quinta generación (5G), arquitectura, métodos de acceso y demás.

2.1 Redes de Acceso

Una red de acceso es la infraestructura que permite la interconexión entre los usuarios finales y los nodos de los operadores de telecomunicaciones, con sus diferentes componentes, como se muestra en la Figura 1. (Huidobro Moya & Huidobro, 2006)

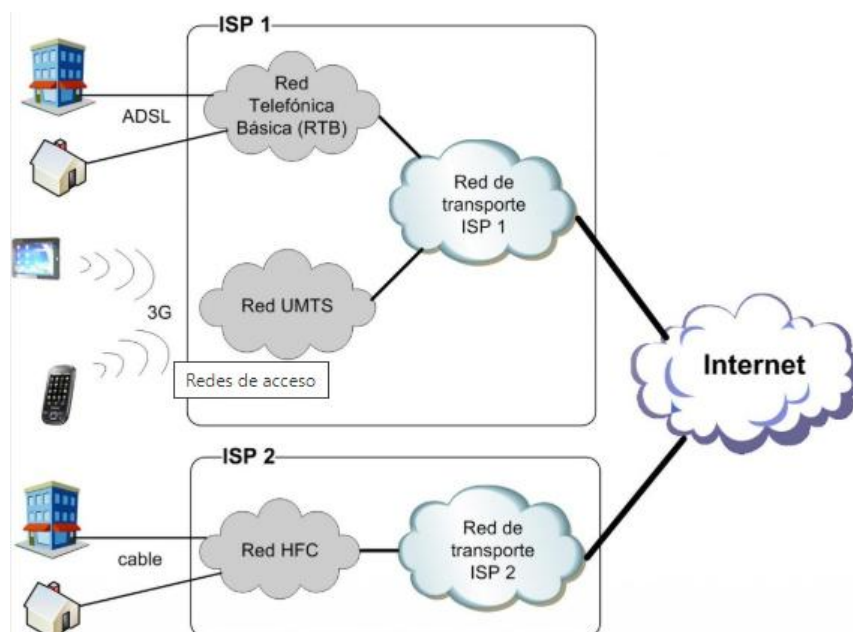


Figura 1 Diagrama de Red de Acceso

Fuente: Tomado de (Gonzalez, 2012)

Según (Atanes & Sainz, 2016) el desarrollo y evolución de las tecnologías de redes de comunicación se agrupa en distintos criterios, tales como:

- Área de cobertura
- Topología
- Tecnología
- Funcionalidad

En el siguiente apartado se describe las redes según la tecnología de acceso, en el cual se pueden diferenciar dos tipos: redes cableadas y redes inalámbricas, considerando que la principal diferencia está en la disposición física de los equipos y la tecnología que utilizan para la conexión.

2.2 Redes Cableadas o Guiadas

Se utiliza para la conexión entre los ordenadores y dispositivos de red tales como (routers, switches, y dispositivos en red), como se muestra en la Figura 2, la conexión se realiza mediante cables, es decir se hace uso de una red alámbrica más extendida para la conexión a la red es el Ethernet. (Atanes & Sainz, 2016)

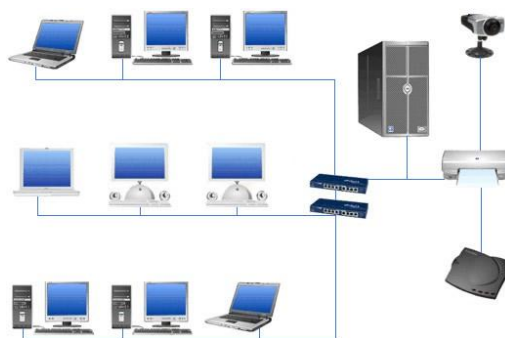


Figura 2 Esquema de una red cableada

Fuente: Tomado de (Redes Cableadas, 2012)

Según (Atanes & Sainz, 2016) esta red utiliza diferentes tipos de topología puede ser en forma de estrella, bus, anillo, árbol y se diferencia entre varios tipos de redes, según su velocidad, como se detalla a continuación:

- Fast Ethernet o 100BASE-T, Cuya tasa de transferencia de datos es de 100 Mbps.
- Gigabith Ethernet o 1000BASE-T. La tasa de transferencia es de 1Gbps (lo que corresponde a 1000 Mbps)
- 10 Gigabith Ethernet. Se utiliza para redes troncales en aplicaciones que necesitan tasas de transferencia de datos muy altas, hasta 10 Gbps. (Atanes & Sainz, 2016)

El tipo de cable que se utiliza en este tipo de redes suele ser de par trenzado (UTP, STP o FTP) y fibra óptica cuando se requiere de mayor velocidad.

2.3 Redes Inalámbricas

Se hace referencia a la interconexión entre distintos dispositivos capaces de transmitir información entre ellos sin el uso de un medio físico, como se observa en la Figura 3, los datos se envían a través de ondas electromagnéticas (Atanes & Sainz, 2016).

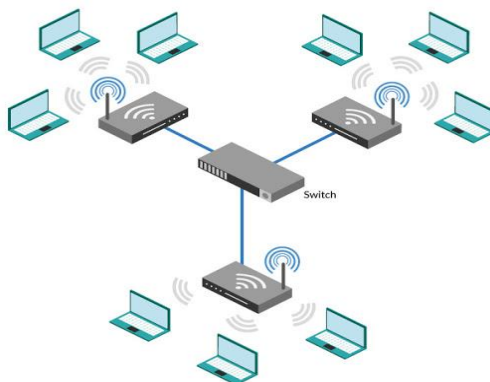


Figura 3 Esquema de una red inalámbrica

Fuente: Tomado de (MINEDUCACION, S/F)

Existen diversas tecnologías de comunicación inalámbrica para este tipo de redes, aunque las comunes son por ondas electromagnéticas, microondas terrestres, microondas, satélites e infrarrojos.

Además, que la creciente demanda de servicios en la tecnología, ha impulsado el desarrollo en el área de las comunicaciones y sobre todo en las redes inalámbricas, que son aquellas que utilizan el aire como medio de transmisión a través de ondas electromagnéticas, la transmisión y la recepción se efectúan a través de antenas. (Andreur, 2011).

Según (Flickenger, 2008) la popularidad de las redes inalámbricas ha llevado a una disminución continua del costo del equipamiento, mientras que la capacidad del mismo continúa incrementándose. La infraestructura inalámbrica puede ser implementada a bajos costos en comparación con las alternativas tradicionales de cableado. Pero construir redes inalámbricas se refiere sólo en parte al ahorro de dinero ya que el tiempo y el esfuerzo ahorrado gracias a tener acceso a la red global de información, se traduce en bienestar a escala local, porque se puede hacer más trabajo en menos tiempo y con menos esfuerzo.

2.3.1 Clasificación de las Redes Inalámbricas

Para (Salazar, 2017) las redes inalámbricas se pueden clasificar en cuatro grupos específicos, como se muestra en la Figura 4, según el área de aplicación y el alcance de la señal:

- Redes inalámbricas de área personal (WPAN).
- Redes inalámbricas de área local (WLAN).
- Redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN).
- Redes inalámbricas de área amplia (WWAN).

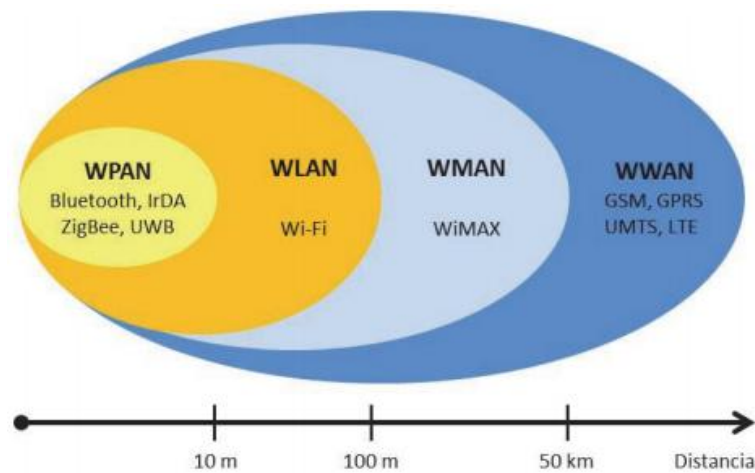


Figura 4 Clasificación de las redes inalámbricas

Fuente: Tomado de (Czech Republic, Salazar, Jordi, České vysoké učení technické v Praze, 2017)

Así también, las redes de acceso inalámbrico pueden clasificarse según el modo de otorgar servicios, utilizando dos tipos de tecnologías diferentes: punto a punto (P – P) y punto a multipunto (PPM). (Lopez, 2005)

2.3.1.1 Tecnología de Comunicación Punto a Punto P-P

Es aquella que establece la comunicación entre dos puntos fijos en largas distancias, como muestra la Figura 5, en la cual se puede visualizar que utilizan comunicación bidireccional. (Lopez, 2005). La distancia de un enlace con comunicación P-P, depende de las características de las antenas que se utilice, la altura de las torres, línea de vista, interferencia, clima u otros factores externos que afectarán la comunicación. (Covarrubias, 2020)

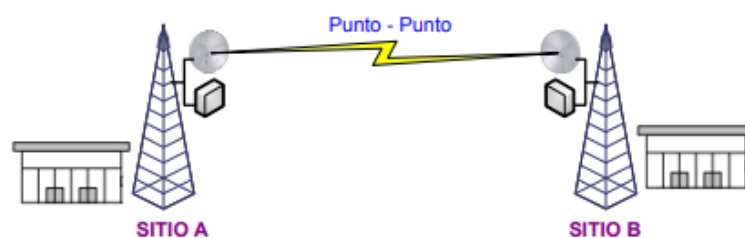


Figura 5 Sistema de comunicación P-P

Fuente: Tomado de (Pozo Félix, 2012)

2.3.1.2 Tecnología de Comunicación Punto a Multipunto PPM

Es aquella que establece la comunicación entre un punto fijo y varios puntos fijos para coberturas de corta distancia, utilizando comunicación bidireccional como se muestra en la Figura 6. (Lopez, 2005). Según (Covarrubias, 2020) “Las distancias son estimadas, como referencia para seleccionar el equipo más adecuado en sus enlaces, la distancia real dependerá de las condiciones del lugar donde instalen los radios”.

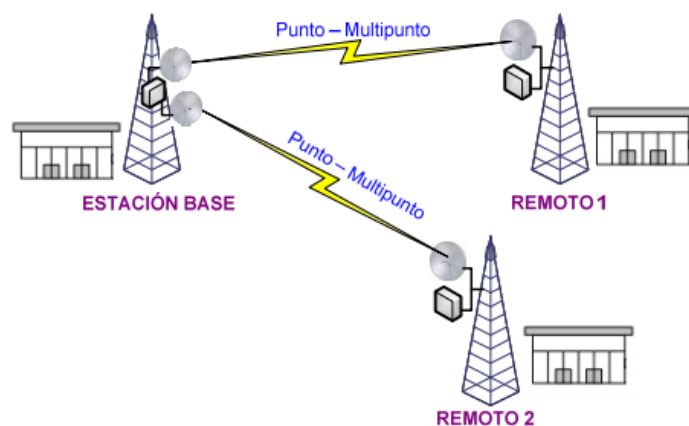


Figura 6 Sistema de Comunicación PPM

Fuente: Tomado de (Pozo Félix, 2012)

Es así que las redes inalámbricas, vienen siendo aplicables con muchos propósitos, en su mayoría son usadas para la sustitución a las redes cableadas, mientras que en otros casos se utilizan para proporcionar acceso a datos corporativos desde ubicaciones remotas, entre estos casos tenemos a FWA que se describe a continuación. (Salazar, 2017).

2.4 Acceso Inalámbrico Fijo (FWA)

Desde hace algún tiempo y hasta la actualidad las comunicaciones inalámbricas, se han denominado la revolución tecnológica, por el hecho de no depender de cables y que el medio de transmisión esté preparado para favorecer su expansión, de esta manera el

Acceso Inalámbrico Fijo (Fixed Wireless Access FWA), es una de sus principales aplicaciones. (Blázquez, 2015)

Según (Lodolo M. , 2018) menciona que “FWA no es más que un sistema, método o concepto para aprovechar las redes móviles existentes y proporcionar servicios de internet a usuarios que se encuentran en un lugar fijo”

FWA es uno de los productos de inserción en el mercado de la tecnología 5G, que ha cambiado drásticamente la forma en que exista conexión fija en lugares de difícil acceso ya sea hogares o empresas, debido a que puede llevar el servicio de banda ancha móvil a través de sistemas inalámbricos de fácil instalación y aporta una conectividad fluida con un grado de flexibilidad alto, y a su vez permite el ahorro de los costos de explotación y usos de las tecnologías inalámbricas. (Lombardi, 2018)

Según (Cárdenas, 2018), manifiesta que las redes FWA, tienen una serie de aspectos particulares que hace posible el acceso a servicios de internet que se detalla a continuación.

- Las redes FWA, pueden ser implementadas sobre infraestructura de red ya existente a bajo coste.
- FWA, permite agregar líneas futuras para el cliente, para servicios ya contratados por este.
- FWA, permite la capacidad de ofrecer nuevos servicios.
- El coste de inversión es bajo y permite dar una mayor cobertura.
- La implementación de redes FWA, toma menor tiempo que las redes tradicionales.

Las características de FWA, está dada por la sustitución de líneas filares tales como: hilo de cobre o cables coaxiales que es remplazado por un sistema radioeléctrico de acceso múltiple en la red de distribución/acceso, con independencia de si se utilizan o

no enlaces radioeléctricos (microondas punto a punto) en la red de retroceso (Lodolo M., 2018)

2.4.1 Sistemas de Acceso Inalámbrico Fijo

El desarrollo e interés por el uso de los sistemas FWA ha ido incrementando, es así que se han propuesto varias tecnologías, así como nuevas normativas algunas son ramificaciones de tecnologías de servicios móviles mientras que otras han sido diseñadas específicamente para el uso fijo.

De acuerdo a (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2001) FWA puede clasificarse en:

- Sistemas de grado celular, son aquellos que pueden compartir la misma posición de infraestructura de red utilizadas para los sistemas celulares móviles.
- Sistemas de grado de línea alámbrica, son aquellos sistemas que se pueden implantar como interfaces autónomas anexas a centrales de conmutación telefónicas.
- Sistemas de grado banda ancha, son aquellas que están orientadas a proporcionar servicios en zonas rurales, suburbanas y urbanas de difícil acceso, ya sea por su ubicación geográfica u orografía, ofreciendo altas velocidades. (Mendoza Díaz, 2003)

FWA en la actualidad una solución atractiva sobre todo para los operadores de telecomunicaciones donde la relación con el cliente es directa.

2.4.2 Arquitectura de red para FWA

Los sistemas FWA utilizan señales electromagnéticas para brindar servicios de internet, telefonía fija en zonas rurales o urbanas dependiendo la necesidad del

proveedor, en general se espera un tráfico y una calidad de funcionamiento (calidad vocal, fiabilidad, etc.) superiores. (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2001)

Por consiguiente, existen variedad de estándares y sistemas comerciales, cada estándar, tiene su propia especificación de interfaz de aire, arquitectura de sistema, elementos de red y la terminología son aspectos que se deben tener en cuenta a la hora de diseñar una topología y arquitectura de red FWA. (Skidmore, 2018)

Los elementos de la red en sistemas diferentes tienen la misma terminología, las funciones de los elementos pueden ser distintas según cada sistema, en la Figura 7, se describe una arquitectura de un sistema FWA, la cual consta de tres elementos fundamentales que se detallan a continuación. (Cárdenas, 2018)

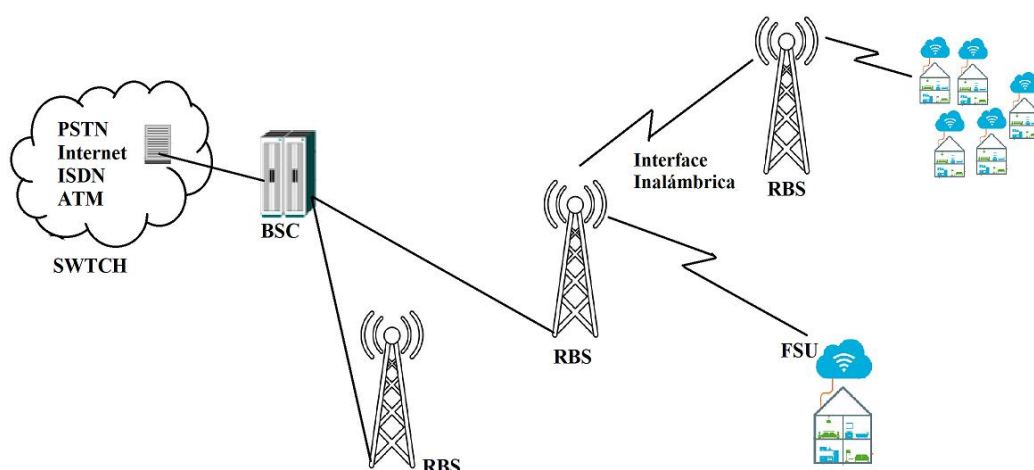


Figura 7 Arquitectura FWA

Fuente: Tomado de (Skidmore, 2018)

2.4.2.1 La Unidad del Suscriptor Fija (FSU).

Es la interfaz entre los dispositivos cableados del suscriptor y la red del sistema FWA, se encarga de convertir el mensaje del usuario, de su forma original a una señal digital que sea adecuada para su transmisión, es decir realiza la codificación/decodificación del canal, la modulación/demodulación y la

transmisión/recepción, según la especificación de la interfaz de aire. Además, cuenta con dos subsistemas la fuente de poder y la interfaz de usuario. (Muñoz Rodriguez & Lara Rodriguez, 2002)

Según (Cárdenas, 2018) “Desde que FWA es un servicio, se pueden utilizar antenas direccionales fijas de alta ganancia entre la FSU y la estación base, teniendo en cuenta la línea de la visual. La señal de FWA físicamente está delimitada por la estructura de la celda asociada.”

2.4.2.2 Interfaz Inalámbrica

Es la encargada de transferir las señales electromagnéticas enviadas por la FSU al sistema que está conectada a una estación base, dichas ondas viajan por el aire a diferentes frecuencias en Hz, como se muestra en la Figura 7. (Cárdenas, 2018)

2.4.2.3 Estación Radio Base RBS

Su función principal es proporcionar el soporte a la estación base, y se compone por dos partes: el sistema estación base transmisor-receptor (BTS o RBS), y el controlador estación base (BSC) (Skidmore, 2018).

Tienen su conexión a la unidad concentradora, o como se muestra en la Figura 7, a un Switch. Está conectada por medio de cables de FO, cobre o vía microondas, se encarga de realizar la codificación/decodificación y la modulación/demodulación del canal, así como la transmisión/recepción de la señal vía radio. (Muñoz Rodriguez & Lara Rodriguez, 2002)

La función del Controlador de Estación Base BSC Según (Cárdenas, 2018) es que “El BSC controla uno o más RBS y proporciona una interfaz para el intercambio local

(conmutación) en la oficina central. Un papel importante del BSC es transcodificar los códigos de fuente usados en redes alámbricas y la interfaz aérea.”

2.4.3 Descripción de la operación de FWA

Para el funcionamiento de FWA se debe considerar, el tipo de método de acceso al medio, modulación, banda de frecuencias que se usa y codificación de la señal. (Aldas, Sistema de Acceso Inalambrico Fijo, 2015).

A continuación, se describe los diferentes sistemas de acceso para FWA con estas consideraciones:

2.4.3.1 Lazo Local Inalámbrico WLL

Son sistemas inalámbricos utilizados para los enlaces de última milla, que requieren vista directa para su transmisión y recepción. Opera en las bandas entre 900 MHz y 6 GHz y, en banda ancha trabaja en rangos de baja frecuencia entre 2,5 y 3,5 GHz y en alta frecuencia entre 26 y 28 GHz, está destinado para servicios de distribución multipunto y sistemas de punto-multipunto similares a los de telefonía celular fija, este tipo de acceso conecta a los suscriptores a la red pública conmutada mediante señales de radio. (Ruiz, 2016)

WLL está orientado para prestar servicios de telefonía fija en zonas rurales de difícil acceso este tipo de sistema puede transmitir voz y datos sobre una misma plataforma, mejorando la cobertura en zonas de alta densidad poblacional, el sistema permite cubrir distancias de hasta 40Km, con capacidad de integración con otros sistemas de acceso; las velocidades de transmisión de 64 Kbps con un ancho de banda de hasta 32 Kbps. (Aldas, 2015)

2.4.3.2 Sistema de Distribución Local Multipunto LMDS

Es un conjunto de estaciones base distribuidas en áreas de servicio, de tal manera que cada una agrupa una cantidad de usuarios, transmitiendo información a altas velocidades en enlaces PPM y es utilizada en lugares con alta densidad poblacional, para brindar transmisión bidireccional de voz, datos y video a alta velocidad. (Ruiz, 2016)

En FWA opera en las bandas de 28 GHz y 31 GHz, con una cobertura aproximada de 2Km a 5Km, proporcionando velocidades de transmisión de datos de línea descendente de hasta 1,5 Gbps y en línea ascendente de 200 Mbps. (Aldas, 2015)

2.4.3.3 Sistema Multicanal de Distribución por Microondas MMDS

Es un sistema que trasmite vía microondas y requiere línea de vista directa, es utilizada para la distribución de servicios contratados, cuya recepción se hace por medio de pequeñas antenas ubicadas en los domicilios de los usuarios, combinando señales analógicas y digitales. (Ruiz, 2016)

Opera en las frecuencias de 2GHz a 4Ghz, con un alcance de 15Km a 50Km desde la estación base, con velocidades de hasta 10 Mbps. (Aldas, 2015)

2.4.4 Frecuencias de los Sistemas FWA

FWA al utilizar el espectro radio eléctrico para brindar servicios, opera en diferentes frecuencias, y para identificar que bandas son aplicables, por lo que la UIT ha efectuado asignaciones conjuntas a los servicios móvil y fijo, cada país utiliza el servicio que requiera impulsar, de acuerdo a los proveedores que puedan beneficiar su economía al permitir mejores capacidades y un uso eficaz del espectro. (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2004)

Las bandas de frecuencia más interesantes para las aplicaciones de los sistemas FWA se detallan en la Tabla 1:

Tabla 1 Aplicaciones y Características de Bandas de Frecuencia para FWA

| RANGO DE FRECUENCIA | APLICACIÓN | CARACTERÍSTICAS |
|---------------------|---|--|
| 400 MHz – 500MHz: | Sistemas Celulares Analógicos en zonas rurales | Mejor Penetración Cobertura de hasta 3,5Km |
| 700 MHz | Enlaces Fijos en zonas rurales | Velocidades superiores a 10Mbps Cobertura de hasta 10Km Mejor Penetración |
| 800 MHz – 1GHz | Radio Digital Celular Telefonía y datos | Fiable Excelente cobertura Ancho de Banda Limitada Buena propagación para sistemas de larga distancia |
| 1,5 GHz: | Enlaces Satelitales Enlaces Fijos Telefonía y Datos | Fiable Excelente cobertura Ancho de Banda Moderado Potencia de transmisión elevada |
| 1,7 GHz – 2GHz | Enlaces Celulares Telefonía y Datos | Fiable Excelente cobertura Ancho de Banda Moderado Potencia de transmisión elevada |

| | | |
|--------------------|----------------------------------|---|
| 3,4 GHz – 3,6 GHz: | Estandarizada para el uso de WLL | Línea de visibilidad directa en distancias cortas |
| | | Más ancho de Banda |
| | | Longitud de trayecto menor a 20Km para PPM |
| | | Mayor longitud de trayecto para P-P |
| 28 GHz – 40 GHz: | Distribución de microonda | Longitud de trayecto menor a 5 Km para PPM |
| | | Mayor longitud de trayecto para P-P |
| | | Existe atenuación por lluvia |
| | | Nivel muy alto de reutilización de frecuencias |

Fuente: Adaptado de: (Rec. UIT-R F.1401-1) (Moreno, 2017) (Instituto Federal de Telecomunicaciones, 2018)

El tipo de frecuencia está regulada por un ente de control de cada país o región donde se implemente un sistema inalámbrico de acceso fijo.

2.5 Técnicas de Duplexación

La duplexación es aquella que sirve para recibir y transmitir información al mismo tiempo, es decir se tiene una comunicación bidireccional, para ello se usa técnicas que creen dos canales una para transmisión y otro para recepción. Estas técnicas son Duplexación por División de Frecuencia FDD y Duplexación por División de Tiempo TDD que se detalla a continuación. (Cuji Rodríguez & Novoa Segovia, 2019)

2.5.1 Duplexación por División de Frecuencia FDD

Permite el envío y recepción simultaneo de información a través de dividir la frecuencia en sub-bandas, de subida (uplink) y de bajada (downlink), como se muestra

en la Figura 8, generalmente tienen una separación del 5% de la banda nominal. (Cuji Rodríguez & Novoa Segovia, 2019)

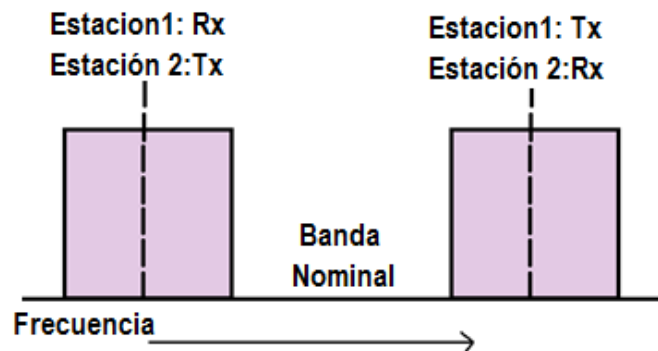


Figura 8 Duplexación por división de frecuencia

Fuente: Tomado de (ITU Academy empowering minds, S/F)

2.5.2 Duplexación por División de Tiempo TDD

Permite el envío y recepción simultaneo de información a través del envío de información en diferentes tiempos, es decir el uplink y dowlink se encuentran en la misma frecuencia, pero separados por el tiempo, como se muestra en la Figura 9. (Cuji Rodríguez & Novoa Segovia, 2019)

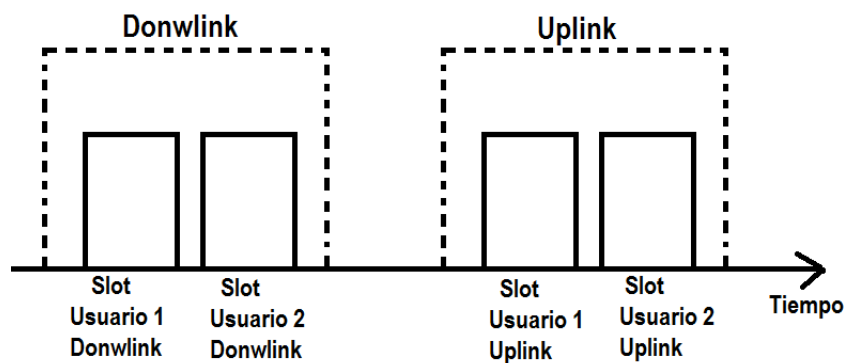


Figura 9 Duplexación por división de tiempo

Fuente: Tomado de (Pozo Félix, 2012)

2.6 Evolución de la red de comunicación móvil

La tecnología y el uso de las comunicaciones móviles han ido incrementando la industria de las telecomunicaciones a través de los saltos tecnológicos que ha ido ocurriendo con el cambio en la naturaleza del sistema, el incremento de velocidad, el cambio de tecnología y el uso de frecuencias, cada generación cuenta con sus estándares, capacidades técnicas y nuevas características que la diferencian de la que la antecede. (Aguado, Feijóo, & Martinez, 2014)

Es por ello que en el siguiente apartado se describirá la evolución de la comunicación móvil.

2.6.1 Red de Primera Generación 1G

Es aquella que red de comunicación analógica que estuvo vigente entre los años de 1970 -1980, creada para dar servicio de voz, que alcanzaba velocidades de 1Kbps – 2,4Kbps, trabajaba en las frecuencias 800 MHz – 900 MHz y tenía un ancho de banda de 30 KHz. Manejaba las tecnologías AMPS, TACS, NTT. (Universidad de Valencia, S/F)

2.6.2 Red de Segunda Generación 2G

Se refiere a la red de comunicación digital inalámbrica que estuvo vigente entre los años de 1980 -1990, creada para dar servicio de voz, datos, roaming internacional, conferencia, llamada en espera, retención de llamada, transferencia de llamadas, bloqueo de llamadas, número de identificación de llamadas, grupos cerrados de usuarios (CUG), servicios USSD, autenticación, que alcanzaba velocidades de 14Kbps - 64 Kbps, trabajaba en las frecuencias de 850 - 1900 MHz (GSM) y 825 - 849 MHz (CDMA) y tenía un ancho de banda de en GSM el canal de 200 kHz lo dividía en

bloques de 25 kHz, en CDMA dividía el canal 1,23 MHz. Manejaba los estándares GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles), IS-95 (CDMA) - utilizado en América y partes de Asia), JDC (Celular Digital Japonés) (basado en TDMA), utilizado en Japón, iDEN (basado en TDMA) , red de comunicación propietaria utilizado por Nextel en los Estados Unidos. (Universidad de Valencia, S/F)

2.6.3 Red de Tercera Generación 3G

Es establecida en el año 2000, en el proyecto UIT sobre Telecomunicaciones móviles Internacionales 200 (IMT-2000), ofrece servicios de telefonía móvil, acceso a Internet, acceso inalámbrico fijo a Internet, video llamadas, chat, conferencias, televisión móvil, video a la carta, geolocalización, telemedicina, navegación por Internet, correo electrónico, buscapersonas, fax y mapas de navegación, juegos, música móvil, servicios multimedia, como fotos digitales y películas, trabaja en frecuencias 8 -2,5 MHz, alcanza velocidades de 384 Kbps – 2 Mbps con un ancho de banda de 5 MHz – 20MHz. (Universidad de Valencia, S/F)

2.6.4 Red de Cuarta Generación 4G

Es establecida en el año 2008 por la UIT como un acuerdo sobre las IMT Avanzadas, ofrecen la integración de servicios de voz, datos, imagen, video, obteniendo la información de manera más dinámica, ya que tiene acceso móvil web, telefonía IP, servicios de juegos, TV móvil de alta definición, videoconferencia, televisión 3D, computación en la nube, gestión de flujos múltiples de difusión y movimientos rápidos de teléfonos móviles, alcanza velocidades de 100 Mbps si se está en movimiento y de 1Gbps si se está estático, el ancho de banda depende del canal de frecuencias más amplia y el uso de las frecuencias en América del Sur es de 2600 MHz (bandas 2, 4, 5, 7, 12, 13,

17, 25, 26 , 30, 41); 2500 MHz, maneja los estándares LTE-TDD, LTE-FDD, WiMAX.
(ITU Academy empowering minds, S/F)

2.6.5 Red de Quinta Generación (5G)

Fue establecida en al año 2015 en el Grupo Temático del UIT-T sobre aspectos de red de las IMT 2020, ofrecen múltiples servicios con los que se puede saber el tiempo meteorológico, posición geográfica mientras hablas, para facilitar conectividad a dispositivos, el Internet de las cosas (IoT) de forma masiva, transporte inteligente, alcanza velocidades 1 Gbps – 10 Gbps, trabaja en frecuencias de 3 GHz – 300 GHz y baja potencia y baja latencia (1ms o menos), con modulación QAM MIMO 4x4.
(Universidad de Valencia, S/F)

La principal evolución en comparación con 4G y 4.5G (LTE avanzado) es que más allá de las mejoras en la velocidad de los datos, los nuevos casos de uso del IoT y de comunicación crítica van a requerir nuevos tipos de rendimiento mejorado, como se muestra en la Figura 10 (Networks-QandA, 2019).

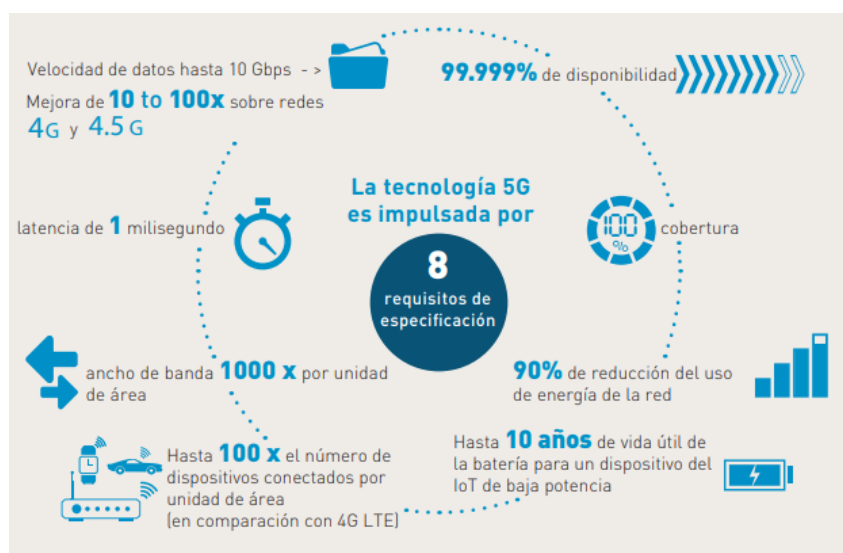


Figura 10 Beneficios de la red de quinta generación

Fuente: Tomado de (Networks-QandA, 2019)

La red de 5G provee un aspecto fundamental respecto a la “baja latencia”, que es lo que provee interactividad en tiempo real para servicios que son utilizados en la nube: esto es clave para el éxito de los vehículos autónomos, ya que tiene un bajo consumo de energía, que es el factor que va a permitir que los objetos conectados funcionen por meses o años, sin la necesidad de ayuda humana.

2.6.6 Bandas de frecuencias para 5G

5G necesita el espectro para las telecomunicaciones ya que es el medio de propagación, para permitir el desarrollo de las telecomunicaciones como como el Internet de las Cosas masivo (IoT) para industria y ciudades inteligentes, la banda ancha mejorada y comunicaciones de muy baja latencia, puede utilizar espectro bajo medio y alto. (Staff , 2019)

- Bandas Bajas entre 700 MHz y 850MHz, alcanza mayor propagación y mejor penetración.
- Bandas Medias se pueden considerar las bandas de 1,9 GHz, 2,3 GHz, 2,5 GHz, y 3,5Ghz que aportan una mezcla de propiedades de la banda baja y alta, ofreciendo un balance en el despliegue de servicios.
- Bandas Altas entre 24 GHz y 28 GHz, menor alcance de propagación, permite mayor ancho de banda por ende más velocidades. (Staff , 2019)

2.6.7 Topología de la red 5G

La red 5G requiere diferentes fases de despliegue en el hardware, de lo cual podemos desprender esta puede trabajar sobre una infraestructura existente o sobre una nueva infraestructura, como se aprecia en la Figura 11 hay dos variantes claras una red Híbrida LTE-5G (NSA) o una red puramente 5G (SA): (Pérez Mantilla, 2019)

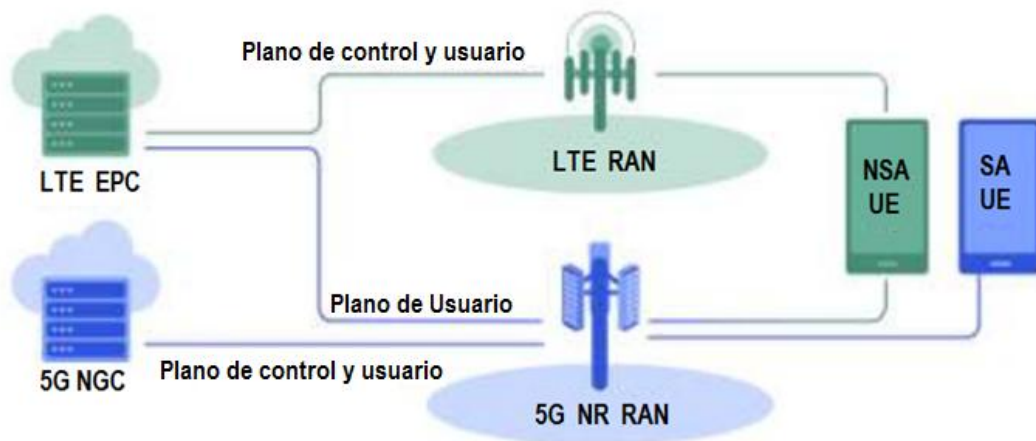


Figura 11 Modos de Funcionamiento SA y NSA

Fuente: Tomado de (Pérez Mantilla, 2019)

2.6.7.1 Non-Standalone NSA

Según (Cerezo Téllez, 2020) la red que “Se mantiene el core de 4G, EPC, y existe interoperabilidad entre el nuevo nodo 5G (gNB) y el 4G (eNB) existente. Se usa LTE como anchor y 5G NR con una configuración de Dual Connectivity (DC).”

2.6.7.2 Standalone SA

Según (Cerezo Téllez, 2020) la “Red completamente independiente al 4G donde el gNB se conecta al nuevo 5G Core Network.”

2.6.8 Modelos de Propagación

Los modelos de propagación son modelos matemáticos que suelen predecir las pérdidas del camino de un enlace de radio, la cobertura de un transmisor bajo parámetros de la distancia, frecuencia y condiciones del medio. (García Rueda, 2016)

A continuación, se especificará los modelos de propagación utilizados en la presente investigación:

2.6.8.1 Modelo de Okumura-Hata

Este modelo permite determinar el nivel medio de atenuación en el espacio libre, en función de la frecuencia, la distancia entre transmisor y receptor, la altura de las antenas transmisora y receptora y algunos factores de corrección, con solo cuatro parámetros, que se describen a continuación: (García Rueda, 2016)

- Frecuencias de 150 MHz a 1500 MHz
- Distancia de 1 Km a 20 Km entre transmisor y receptor
- Altura de la antena del transmisor de 30 m a 200 m
- Altura de la antena del receptor de 1 m a 10 m

Se debe considerar la altura de la antena medida desde el suelo, para otorgar mayor precisión en el modelo. (García Rueda, 2016)

2.6.8.2 Modelo de Cost Hata

Este modelo de propagación es utilizado por encima del umbral del modelo anterior descrito, los parámetros a considerar para utilizar este modelo son: (García Rueda, 2016)

- Frecuencias de 1500 MHz a 2000 MHz
- Distancia del enlace de 1 Km - 20 Km
- Altura de la estación base entre 30 m - 200 m
- Altura de la estación de usuario UE entre 1 m - 10 m

2.6.9 Redes FWA para 5G

5G FWA mantiene las características FWA, antes descritas, ya que permite el establecimiento de un servicio de banda ancha rápido y barato, incluso en áreas que no tienen acceso inmediato a la banda ancha doméstica de línea fija, lo fundamental para la

implementación de esta tecnología es la provisión de los llamado equipo local del cliente (CPE), que el suscriptor puede auto instalar fácilmente. (Sean, 2016)

De acuerdo a (García Rueda, 2016) se han realizado pruebas de 5G FWA para proveer de un servicio de banda ancha AB en hogares mediante un punto de acceso (CPE) conectado de manera inalámbrica a la red de telecomunicaciones móvil. Las bandas utilizadas para 5G fueron la de 3.5GHz y la de 26GHz como se muestra en la Tabla 2:

Tabla 2 5G FWA bandas de frecuencia

| Banda | Máximo Disponible AB | Duplexación | Uso propuesto | Cobertura | Velocidad |
|--------------------|-------------------------------------|--------------------|--------------------------|------------------|------------------|
| 0,7Ghz | 2x30 MHz | FDD | eMBB | ++ | -- |
| 3,4 – 3,8 GHz | 400MHz | TDD | eMBB/FWA | + | + |
| 24, 25-27,5 GHz | 3,25 GHz | TDD | FWA/eMBB | -- | ++ |

Fuente: Traducido de (García Rueda, 2016)

Todos los parámetros descritos en este capítulo se considerarán en el desarrollo de este proyecto de investigación.

3. CAPITULO III

SITUACIÓN ACTUAL

En este capítulo se presenta la situación actual respecto al marco regulatorio, la asignación y distribución del espectro radioeléctrico en América Latina y para la CNT EP; así como también, el estatus de la evolución de las redes 5G y el desarrollo la CNT EP sobre esta tecnología, además del análisis de la zona de influencia para la investigación que corresponde a la parroquia de La Esperanza del cantón Ibarra.

3.1 Marco Regulatorio

En el ámbito regulatorio se hace referencia a lo concerniente al espectro radioeléctrico que se describe en la UIT, la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, el Reglamento de Títulos Habilitantes de Telecomunicaciones y Frecuencias y el Plan Nacional de Frecuencias:

3.1.1 Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)

La UIT cumple esta misión fundamental, los trabajos de la UIT se concentran en el ámbito de las radiocomunicaciones, y estima alcanzar un consenso mundial respecto al uso de los servicios de radiocomunicaciones con una amplia y creciente gama de servicios inalámbricos. El UIT-R del Sector de Radiocomunicaciones desempeña un papel de custodio fundamental en la gestión del espectro de las frecuencias radioeléctricas, que son objeto de una creciente demanda por parte de un gran número de servicios.

La gestión del espectro está integrada por los procedimientos administrativos y técnicos para garantizar el uso eficaz del espectro de frecuencias radioeléctricas por

todos los servicios de radiocomunicaciones definidos en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT (Comisión de Estudio del UIT-R, 2010).

3.1.2 Artículos de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones

En la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, capítulo II del uso y explotación del espectro radioeléctrico se hace referencia al artículo 50, mediante el cual se manifiesta que los títulos habilitantes para el uso y explotación de frecuencias, se otorgaran conforme la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, sus reglamentos y los requisitos técnicos, económicos y legales pertinentes.

Para la CNT EP, es procedente la adjudicación directa de acuerdo al artículo 51, en virtud que se otorgó el título habilitante para el uso o explotación de frecuencias del espectro radioeléctrico por tratarse de una empresa pública que está facultada para el uso de frecuencias esenciales y no esenciales (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2015).

3.1.3 Artículos del Reglamento de Títulos Habilitantes de Telecomunicaciones y Frecuencias

El Reglamento para otorgar títulos habilitantes para servicios del régimen general de telecomunicaciones y frecuencias del espectro radioeléctrico, en su artículo 14, hace referencia a que las empresas públicas de telecomunicaciones mantienen un derecho preferente para la asignación de frecuencias, sujeta a lo establecido en el Plan Nacional de Frecuencias.

En los artículos 47 y 48, se refiere a la adjudicación directa para las empresas públicas y donde la ARCOTEL establecerá los parámetros y objetivos para el uso o explotación de frecuencias, así como también se otorga un título habilitante bajo el

esquema de una autorización para empresas públicas o instituciones del estado (ARCOTEL, 2016).

3.1.4 Plan Nacional de Frecuencias

El Plan Nacional de Frecuencias es el documento de la ARCOTEL para una adecuada Gestión del Espectro Radioeléctrico, asignación, concesión y autorización de uso de frecuencias, el cual establece las normas para la atribución de las bandas y canales radioeléctricos para los diferentes servicios, y que permite normalizar el uso del espectro radioeléctrico.

El objetivo principal es proporcionar los lineamientos para un proceso eficiente y eficaz de gestión del espectro radioeléctrico, con una nomenclatura sencilla y de fácil interpretación, facilitando una herramienta para la utilización óptima del mismo y previniendo interferencias perjudiciales entre los distintos servicios (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2017).

3.2 Asignación y Distribución del Espectro Radioeléctrico

En esta sección se dará a conocer los diferentes aspectos significativos del sistema, los cuales son importantes, para de esta manera poder idealizar y tener una imagen más clara de los objetivos.

3.2.1 Asignación del Espectro Radioeléctrico en América Latina

La industria y el sector de las telecomunicaciones requieren de más espectro radioeléctrico en un escenario creciente de las redes LTE y la futura 5G, por lo que es importante planear las inversiones requeridas para su despliegue. Contar con suficiente espectro y con una visibilidad de la asignación de espectro, es una necesidad

preponderante, tanto para el desarrollo económico de los países como para suplir las necesidades de una sociedad que cada día se vuelve más digital.

La investigación respecto a la asignación del espectro radioeléctrico muestra que puede haber disponibilidad relativamente próxima de 7.092 MHz para toda América Latina. Las cantidades de espectro difieren de mercado en mercado, por lo que se expone la siguiente Figura 12, que permita tener una idea general de la asignación del espectro en América Latina. Sin embargo, hay bandas que interesan o figuran en la hoja de ruta de varios países. Un ejemplo puede ser la banda de 700 MHz, 1900 MHz, AWS y 2.500 MHz (5G Américas, 2019, pág. 5).

| Países | 450 MHz | 700 MHz | 800 MHz | 850 MHz | 900 MHz | 1,7 / 2,1 GHz (AWS) | AWS-3 | 1,8 GHz | 1,9 GHz | 2,1 GHz | 2,3 GHz | 2,5 GHz | 3,5 GHz |
|-----------------|--|---|----------|----------|----------|---------------------|----------|----------|----------|----------|--|----------|--|
| Argentina | Asignado | En proceso de asignación o licitación en planeación | Asignado | Asignado | Asignado | Asignado | | | Asignado | | | Asignado | |
| Bolivia | | En proceso de asignación o licitación en planeación | | Asignado | | Asignado | | | Asignado | | | | |
| Brasil | En proceso de asignación o licitación en planeación | En proceso de asignación o licitación en planeación | Asignado | Asignado | Asignado | | | Asignado | Asignado | Asignado | Asignado | Asignado | Asignado |
| Chile | | En proceso de asignación o licitación en planeación | Asignado | Asignado | Asignado | Asignado | | | Asignado | | | Asignado | Asignada para otros similares; en reordenamiento, refarming o reorganización |
| Colombia | | Asignado | Asignado | Asignado | | Asignado | | | Asignado | | | Asignado | Asignada para otros similares; en reordenamiento, refarming o reorganización |
| Costa Rica | | | | Asignado | | | | Asignado | Asignado | Asignado | | Asignado | |
| Ecuador | | Asignado | | Asignado | | Asignado | | | Asignado | | | Asignado | Asignada para otros similares; en reordenamiento, refarming o reorganización |
| El Salvador | | | Asignado | Asignado | Asignado | Asignado | | | Asignado | | | Asignado | |
| Guatemala | | | Asignado | Asignado | Asignado | | | | Asignado | | | | |
| Ghonduras | | | | Asignado | | Asignado | | | Asignado | | | | |
| México | | Asignado | Asignado | Asignado | | Asignado | Asignado | | Asignado | | | Asignado | Asignada para otros similares; en reordenamiento, refarming o reorganización |
| Nicaragua | | Asignado | | Asignado | | Asignado | | Asignado | Asignado | | | | |
| Panamá | | Asignado | | Asignado | | | | | Asignado | | | | |
| Paraguay | | Asignado | | Asignado | Asignado | Asignado | | | Asignado | | | | Asignada para otros similares; en reordenamiento, refarming o reorganización |
| Perú | Asignada para otros similares; en reordenamiento, refarming o reorganización | Asignado | Asignado | Asignado | Asignado | Asignado | | | Asignado | | Asignada para otros similares; en reordenamiento, refarming o reorganización | Asignado | Asignada para otros similares; en reordenamiento, refarming o reorganización |
| Rep. Dominicana | | | | Asignado | Asignado | Asignado | | | Asignado | | | Asignado | Asignada para otros similares; en reordenamiento, refarming o reorganización |
| Uruguay | | Asignado | | Asignado | Asignado | Asignado | Asignado | Asignado | Asignado | Asignado | | Asignado | |
| Venezuela | | | | Asignado | Asignado | Asignado | | Asignado | Asignado | | | Asignado | |

Asignado
 En proceso de asignación o licitación en planeación
 Asignada para otros similares; en reordenamiento, refarming o reorganización

Figura 12 Asignación del espectro radioeléctrico en América Latina

Fuente: Tomado de (5G Américas, 2019, pág. 5).

3.2.2 Situación del Ecuador en la asignación del espectro radioeléctrico

En el año 2018 el Ecuador contaba con 15,5 millones de accesos móviles en una población de 16,9 millones, lo que resulta en una penetración de acceso móvil del 91,6% en un territorio de 283.560 km²., a través de tres operadores como Claro, CNT- y Movistar.

La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) ha propuesto entre 2017 y 2018 la asignación del espectro radioeléctrico de las bandas de 900 MHz, AWS y el rango 3,3-3,6 GHz, que podrían ser objeto de nuevas licitaciones. Debido a su licitación, las bandas de 900 MHz y AWS, generarían 100 MHz adicionales para servicios adicionales y la banda de 3,3-3,4 GHz no está en uso.

En el caso de 3,4-3,6 GHz hay asignados 50 MHz a CNT a nivel nacional y 21,5 MHz a ETAPA con cobertura en Cuenca, por lo que quedan disponibles 128,5 MHz para Telecomunicaciones Móviles. La banda de 2500-2686 MHz está atribuida servicios fijos y móviles, aunque está ocupada con sistemas de TV codificada.

La ARCOTEL en su agenda regulatoria del 2019 incluye una actualización parcial del Plan Nacional de Frecuencias, por otro lado, el Ministerio (MINTEL) suscribió la Política de Espectro, y anunció que, para noviembre del 2019, se presentarán las bases para la asignación de espectro de la banda de 700 MHz y 2.5 GHz a las operadoras móviles, lo que contribuirá con la masificación de 4G. El MINTEL también planea ofrecer tentativamente en 2020 la banda de 3,5 GHz. Los 290 MHz en uso para servicios móviles en Ecuador representan el 22,3% de la cantidad de espectro sugerida en ITU-RM 2078 para 2015, y el 14,8% de la sugerencia para 2020 (5G Américas, 2019).

3.2.3 Asignación de frecuencias para la CNT EP

Las frecuencias esenciales y no esenciales utilizadas por la CNT EP se ajustarán al Plan Nacional de Frecuencias aprobado por el Ex-CONATEL y en su última revisión del año 2017 por parte de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones ARCOTEL, así como también lo establecido en el Título Habilitante en las Condiciones Generales para la prestación de servicios de Telecomunicaciones a favor de la CNT EP (SENATEL, 2011).

La asignación de frecuencias para la CNT EP se realiza de acuerdo al ordenamiento jurídico vigente, de forma directa y preferente, es decir sin un procedimiento público competitivo, en base a los principios de disponibilidad, eficiencia y celeridad; así como también cualquier modificación a los parámetros técnicos de la red que involucre frecuencias del espectro radioeléctrico, se requiere la autorización por parte de la ARCOTEL. De igual manera la CNT EP está obligada a realizar el uso eficiente de frecuencias, debido a que puede realizar el trámite para disponibilidad del ente regulador (CONATEL, 2011).

Con estos antecedentes, es pertinente presentar el detalle de asignación del espectro radioeléctrico que dispone la CNT EP, como se muestra en la Figura 13, y el mismo que ha ido actualizándose en el Anexo B del documento del título habilitante en las Condiciones Generales para la prestación de servicios de Telecomunicaciones a favor de la CNT EP, de acuerdo a las necesidades de la organización y demandas del sector de las telecomunicaciones en el Ecuador:

| RANGO | BANDA | LÍMITE INFERIOR | LÍMITE SUPERIOR | AB (MHz) | FECHA DE ASIGNACIÓN | RESOLUCIÓN DE ASIGNACIÓN | ANEXO AL QUE CORRESPONDE | SERVICIO | TECNOLOGÍA |
|---------------------|-------|-----------------|-----------------|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------|
| 450 MHz | A | 454,4 | 457,475 | 3,075 | 01/06/2011 | TEL-406-10-CONATEL-2011 de 19/05/2011 | Apéndice B.1 de la Habilitación general de 01 de junio de 2011 | FWA (telefonía fija inalámbrica) | CDMA 450 |
| | A' | 464,4 | 467,475 | 3,075 | | | | | |
| 1900 MHz | F | 1890 | 1895 | 5 | 01/06/2011 | TEL-406-10-CONATEL-2011 de 19/05/2011 | Apéndice B.1 de la Habilitación general de 01 de junio de 2011 | SMA | UMTS |
| | F' | 1970 | 1975 | 5 | | | | | |
| | C | 1895 | 1910 | 15 | | | | | |
| | C' | 1975 | 1990 | 15 | | | | | |
| 3400 – 3600 MHz | A | 3400 | 3425 | 25 | 01/06/2011 | TEL-406-10-CONATEL-2011 de 19/05/2011 | Apéndice B.1 de la Habilitación general de 01 de junio de 2011 | FWA (telefonía fija inalámbrica) | WiMAX |
| | A' | 3500 | 3525 | 25 | | | | | |
| | D2 | 3485,75 | 3500 | 14,25 | | | | | |
| | D2' | 3585,75 | 3600 | 14,25 | | | | | |
| 700 MHz | G | 733 | 738 | 5 | 12/12/2012 | TEL-804-29-CONATEL-2012 de 12/12/2012 | Anexo al Apéndice B.1 de la Habilitación general de 01 de junio de 2011 | SMA | LTE |
| | G' | 788 | 793 | 5 | | | | | |
| | H | 738 | 743 | 5 | | | | | |
| | H' | 793 | 798 | 5 | | | | | |
| | I | 743 | 748 | 5 | | | | | |
| | I' | 798 | 803 | 5 | | | | | |
| AWS (1700-2100 MHz) | A | 1710 | 1715 | 5 | 12/12/2012 | TEL-804-29-CONATEL-2012 de 12/12/2012 | Anexo al Apéndice B.1 de la Habilitación general de 01 de junio de 2011 | SMA | LTE |
| | A' | 2110 | 2115 | 5 | | | | | |
| | B | 1715 | 1720 | 5 | | | | | |
| | B' | 2115 | 2120 | 5 | | | | | |
| | C | 1720 | 1725 | 5 | | | | | |
| | C' | 2120 | 2125 | 5 | | | | | |
| | D | 1725 | 1730 | 5 | | | | | |
| | D' | 2125 | 2130 | 5 | | | | | |
| 10,7 – 12,2 GHz | | | | 1520 (250 CHs de 6 MHz) | 14/06/2014 (Firma del Anexo G) | RTV-368-13-CONATEL-2012 de 06/06/2012 | Anexo G | Audio y Video por suscripción | DTH (para Ecuador continental) |
| 11,57 – 12,2 GHz | | | | 630 (105 CHs de 6 MHz) | 02/10/2014 (Firma del Anexo J) | RTV-649-23-CONATEL-2014 de 12/09/2014 | Anexo J | Audio y Video por suscripción | DTH (para Galápagos) |


 Frecuencias que han sido devueltas voluntariamente por CNT EP al Estado.

Figura 13 Asignación de Frecuencias CNT EP

Fuente: Tomado de (CNT, Corporativo CNT EP, 2017 - 2021)

3.3 Situación actual implementación FWA sobre 5G en otros países

Varios países entraron en competencia para ser el primero en implementarla red 5G, esta carrera la ganó Corea del Sur, al desplegar su red en abril de 2019. Esta competencia entre países fue provocada por evitar que el proveedor Chino Huawei sea el primer proveedor de tecnología 5G en lugar de los proveedores norteamericanos como Ericsson. (Público, 2019)

Actualmente el despliegue de las redes 5G se ha realizado en Asia, Norteamérica, Oceanía y Europa, y de acuerdo al Observatorio Nacional 5G el número de operadores con despliegue de redes 5G comerciales y de pruebas son alrededor de 51 operadores, en 31 países. Los países con mayor éxito en sus despliegues han sido Corea del Sur, Estados Unidos, Suiza y Australia. (ON5G, 2019)

En el Ecuador los principales proveedores de tecnología son Huawei, Ericsson, ZTE y NOKIA – ALCATEL, es por esto que el desarrollo que estos proveedores tengan a nivel mundial se vuelve un referente para el Ecuador.

Otro factor importante a tomar en cuenta es el desarrollo de los terminales por parte de los principales proveedores mundiales y cuál ha sido la experiencia de los operadores que se encuentran implementando esta tecnología con este tipo de terminales.

Con estos antecedentes, se procederá a resumir el tipo de implementaciones que se están realizando en las principales regiones del mundo, y que serán referentes para Ecuador para el desarrollo de esta tecnología.

3.3.1 Zona Asia Pacífico

El principal referente de esta zona es Corea del Sur, fue el primer país en implementar comercialmente una red 5G y en las tres principales operadoras de este país KT Telecom, LG UPlus y SK Telecom. (Observatorio Nacional 5G, 2019)

Las bandas que el gobierno de Corea del Sur otorgó a los operadores fueron la de 3.5 GHz y 28 GHz, de la primera banda otorgó 100 MHz del espectro a dos de los tres operadores y 80 MHz al tercer operador; y en el caso de la banda de 28 GHz otorgó 800 MHz del espectro a los tres operadores. (GSMA, 2019)

La puesta comercial en Corea se inició en la banda de 3.5 GHz, y de las pruebas realizadas a estos operadores se identificó que el promedio de descarga es tres veces superior al que se tiene con las redes 4G, además es importante destacar que el despliegue que se ha tenido en este país ha sido uno de los más exitosos y rápidos llegando a cubrir casi todo el país y alcanzando a 3 (tres) millones de suscriptores en apenas 6 meses de servicio comercial. (El Universo, 2019)

El servicio al que se han enfocado los operadores de este país hasta el momento es el servicio móvil con el fin de dar una mejor experiencia a sus usuarios, con respecto al servicio FWA los operadores se encuentran ya realizando las pruebas y verificando los terminales que se utilizarían para el mismo.

La empresa coreana Samsung ha desarrollado el Smartphone Samsung Galaxy S10 que soporta la tecnología 5G, adicionalmente las empresas LG y Xiaomi también han desarrollado nuevos terminales para esta tecnología. (Tuset, 2019)

Con respecto a los otros países de la región como China, la red ya se ha desplegado en 50 ciudades principales de este país, adicionalmente el espectro utilizado por Japón y

China se encuentra en el rango de 4.5 a 5 GHz para la tecnología 5G. (El Universo, 2019)

3.3.2 Norteamérica

El desarrollo en este continente se ha dado principalmente en Estados Unidos, el cual ya sacó a través de tres operadores el servicio comercial de la red 5G. Los operadores que se encuentran brindando el servicio son Verizon, AT&T y T-Mobile.

Las primeras implementaciones se realizaron a través de los operadores Verizon y AT&T, quienes enfocaron su despliegue para brindar el servicio FWA. Para esto las bandas que estos operadores escogieron son bandas milimétricas (mmWave), en el caso de Verizon y AT&T su implementación se basó en el espectro de 28 GHz (DIGITAL TRENDS, 2019). Por su parte T-Mobile lanzó su red en banda baja 600 MHz, con el objetivo de desplegar en una mayor cobertura que los otros competidores. (Peña & Mendiola, DIGITAL TRENDS, Todos los detalles de la red ultrarrápida 5G de T-Mobile, 2019)

En abril de 2019 la operadora Verizon lanzó su red comercial 5G, en las ciudades de Chicago y Minneapolis, y actualmente tiene desplegada su red en aproximadamente 30 ciudades de Estados Unidos. Una de las principales complicaciones que este operador tuvo en el despliegue a través de una banda milimétrica (mmWave) fue que la penetración de la señal en el interior de los edificios se reducía por los diferentes obstáculos, lo que le llevo a tener que implementar mayor cantidad de antenas en las zonas de interés además de alcanzar acuerdos con empresas de equipos wireless como Boingo Wireless que le permitan llegar de forma adecuada a sus clientes. (DIGITAL TRENDS, 2019)

Actualmente Verizon ofrece a sus clientes el servicio de FWA a través del nombre comercial “5G Home Internet” (Verizon, 2020); los usuarios pueden llegar a tener velocidades entre 300 Mbps hasta 940 Mbps dentro de sus hogares de acuerdo a la publicidad que da Verizon, y para aumentar sus clientes como estrategia incluye dentro de sus planes equipos extensores de señal WiFi.

Las velocidades que indica Verizon también dependerán de la cantidad de clientes que se tengan en la zona de cobertura de las antenas 5G, ya que las redes móviles distribuyen sus recursos en función de la cantidad de usuarios que se tiene dentro de la zona de cobertura de una estación base, es decir los recursos se dividirán entre los usuarios de telefonía móvil y los usuarios del servicio FWA.

Verizon ha realizado acuerdos con las principales empresas de terminales para distribuirlos con sus clientes, los teléfonos 5G que Verizon está comercializando son el Samsung Galaxy Note10+5G, LG V50 ThinQ 5G, Samsung Galaxy S10 5G y el Motorola moto Z4. Los equipos terminales que Verizon comercializa para el servicio de FWA son el 5G MiFi M1000 de la marca Inseego y el enrutador 5G Home habilitado para Amazon Alexa de tecnología Wifi 6 (802.11ax) que se muestran en la Figura 14. (Verizon, 2020)



Figura 14 Terminales de Verizon 5G MiFi M1000 y el enrutador 5G Home

Fuente: Tomado de (Verizon, 2020)

Para que los clientes de la red FWA puedan tener señal dentro de sus casas, se requiere que las antenas tengan línea de vista directa hacia las antenas de la red 5G, ya que las interferencias producen que la señal se reduzca, es por este motivo que los equipos FWA son pequeños para que puedan ser puestos en las ventanas de las casas con el fin de mantener la línea de vista.

Con lo que respecta a AT&T, ellos basaron su estrategia comercial 5G en tres pilares que son: red Móvil, red Fija FWA y Cloud. Dentro de su estrategia AT&T realizó inicialmente pruebas gratuitas para un grupo de clientes seleccionados, y además realizaron varios demos del servicio en estadios, y hospitales con el fin de mostrar los beneficios de la red 5G. (Lopes & Oliver, 2019)

Otra estrategia que AT&T utilizó es que en zonas donde mejoró su cobertura 4G, fue indicar que esta red y los equipos que se conectaban a la misma estaban conectados a una red 5G Evolution, sin embargo, esta estrategia comercial le está llevando a AT&T a tener problemas con otros operadores. Adicionalmente los equipos 4G que soportan esta red también AT&T los está comercializando como equipos 5G Evolution, aunque técnicamente no lo son. (AT&T, 5G Evolution, 2020)

Al inicio esta operadora desplegó su red en 35 ciudades implementadas en Estados Unidos (AT&T, Construimos 5G en la mejor red del país, 2020). Dentro de su publicidad AT&T ha indicado que ellos son los primeros en alcanzar velocidades de 2 Gbps, lo que equivaldría a poder bajar una película HD de 2 horas en 10 segundos. Al igual que Verizon se desplegó su red en una banda milimétrica (mmWave), esto en vista que la velocidad es mayor en esta banda, sin embargo, como se mencionó anteriormente los problemas de esta banda es la penetración y la cobertura reducida. (Lopes & Oliver, 2019)

El equipo que AT&T está comercializando para su red fija en 5G FWA, es de la marca NETGEAR, que se muestra en la Figura 15, y para telefonía móvil utiliza el equipo Samsung Galaxy Note10+5. (AT&T, Phones, 2020)



Figura 15 Equipo para 5G FWA, marca NETGEAR

Fuente: Tomado de (AT&T, 2020)

Por último, T-Mobile realizó su despliegue con una estrategia diferente de sus competidores, al tener una banda baja asignada (600MHz); decidieron enfocarse en cubrir la mayor parte del territorio en lugar de enfocarse en ofrecer servicios de FWA. Es por este motivo que a finales del año pasado se anunció que el operador alcanzó a cubrir todo el país con cobertura 5G. (Peña & Mendiola, 2019)

Las velocidades que podrían llegar a alcanzar con este despliegue son de 100 Mbps, lo cual es muy favorable para los clientes de esta operadora. Los equipos terminales que este operador se encuentra ofreciendo a sus clientes son: OnePlus 7T Pro 5G McLaren y el Samsung Galaxy Note 10 Plus 5G. (T-Mobile, 5G nacional que funciona, 2020)

Con respecto a la red Fija 5G FWA, T-Mobile planea lanzar su red a partir del 2021, con el objetivo de convertirse en el cuarto principal ISP de Estados Unidos, de acuerdo a declaraciones del CEO de la operadora y a documento de planeación a la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) para su aprobación. (T-Mobile, News, 2019)

3.3.3 Europa

En el caso de Europa, Ericsson ha logrado posicionarse como el principal vendedor de equipamiento para la implementación de redes 5G entre los operadores de la Comunidad Europea, esto en parte se debió a la influencia que ha tenido Estados Unidos y los problemas que ha tenido con China, especialmente con el principal proveedor que es Huawei.

En España, los primeros operadores que desplegaron su red 5G fueron Vodafone y Telefónica. El despliegue de las redes se realizó en la banda de 3.7 GHz, con 90 MHz de espectro. De las pruebas la red de Vodafone ha alcanzado una velocidad de 1 Gbps (Vodafone, 2019). En el caso de Telefónica España solo se han ejecutado pruebas y su objetivo es poder desplegar su red para brindar servicios de IoTs, y FWA. (Tomás, 2019)

Una de las causas por las cuales Telefónica retraso el despliegue en España fue debido a que este operador tiene desplegada la mayor red de fibra en este país, por tanto, ha decidido esperar que la red 5G se encuentre más madura, además su estrategia es ampliar su cobertura 4G para que la red 5G pueda utilizar la banda 700 MHz para llegar a cubrir la mayor cantidad de territorio y utilizar la banda 3.7 MHz para dar mejores velocidades.

En otros países como Alemania e Italia, las redes se han desplegado en la banda de 700 MHz y ha sido de la mano del operador Telefónica, donde su estrategia es diferente de España, ya que su interés es alcanzar la mayor cobertura de estas regiones.

Los terminales que se están utilizando para brindar el servicio 5G son el Samsung Galaxy S10, LG V50 ThinQ y Xiaomi Mi MIX 3.

3.4 Estatus de la evolución de las redes 5G en el Ecuador

Actualmente en el Ecuador no se desplegado redes 5G, sin embargo, el MINTEL en el marco de la Estrategia Ecuador Digital, ha suscrito la Política de Espectro Radioeléctrico, la cual permitirá enfocarse hacia la transformación digital y sentar las bases para el ingreso a tecnología 5G, inicialmente enfocada en mejorar el Servicio Móvil Avanzado (SMA) a través de mayores velocidades en relación al 4G. Así mismo, el 18 de julio de 2019 se realizaron simulaciones en vivo con esta tecnología en la banda 3.5GHz, por lo que el Ministerio de Telecomunicaciones indica que contribuirá a romper las barreras geográficas a través del incremento de mayor acceso. (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, 2019).

En ese sentido, los operadores han expresado su interés para el desarrollo de ésta tecnología, e incluso se han realizado pruebas con Huawei, Ericsson y Nokia, lo cual permitirá una evolución en la prestación de servicios en el país. Sin embargo, aún existen limitantes respecto a terminales y desarrollo de políticas regulatorias, uno de estos problemas es que para el despliegue de esta tecnología es necesario realizar la liberación de las bandas que se asignen a 5G tanto para el FWA como para el SMA, así como también depende de definiciones de organizaciones internacionales. (REDACCIONES GRANAS, 2019)

La ARCOTEL ha asignado la frecuencia de 3.5 GHz para las pruebas de 5G, además se piensa en el rango de 600 MHz a 6 GHz (Zapata, 2019). Las primeras pruebas de la red 5G se realizaron a partir del 18 de julio de 2019, en el lanzamiento de la política “Ecuador Digital”, tal como se mencionó anteriormente.

La CNT realizó este lanzamiento a través del proveedor Huawei, quien actualmente es su proveedor de la red Core y parte de la red de Acceso 4G.

3.5 Caso de estudio de la investigación

A continuación, se describe la importancia de realizar el estudio en la parroquia de La Esperanza en la ciudad de Ibarra.

3.5.1 Condiciones actuales de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP en la zona de influencia

Previo a la descripción de la situación actual de la CNT EP, es importante hacer una descripción general de la empresa, la cual a partir del 30 de octubre del 2008 se constituyó como la Corporación Nacional de Telecomunicaciones, CNT S.A., como resultado de la fusión de las extintas Andinatel S.A. y Pacifictel S.A. El 14 de enero de 2010 la CNT S.A. pasa a ser Empresa Pública con el nombre de Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP.

El 30 de julio de 2010, se oficializó la fusión de la CNT EP con la empresa de telefonía móvil Alegro, con el fin de ampliar y potencializar su cartera de productos y servicios los cuales son: Telefonía Fija, Telefonía Móvil, Televisión e Internet (CNT, Corporativo CNT EP, 2017 - 2021).

La CNT EP es una empresa que ofrece varios servicios dentro de su portafolio, con respecto a los servicios de datos fijos, la CNT lo realiza a través de su red ADSL y su red GPON, en esta última red la CNT ha invertido una gran cantidad de dinero con el fin de migrar la mayor cantidad de clientes ADSL para mejorar el servicio de sus clientes.

Para el despliegue de este tipo de redes se lo realiza a través de postes o de canalización, usualmente el mayor dueño de la infraestructura de postes es la Empresa Eléctrica, sin embargo, hay zonas en especial suburbanas y rurales donde no existen

postes. La construcción de postes requiere tanto de la aprobación de los municipios como de las empresas eléctricas de la zona.

Con respecto a la canalización, la construcción se vuelve más compleja en zonas de difícil acceso, ya que el zanjado, el traslado y manipulación del material termina siendo costoso, sin contar el tiempo de la implementación. Es por este motivo que normalmente se trata de utilizar la infraestructura ya construida, ya sea de municipios o de otras empresas de telecomunicaciones.

Sobre esto existe una nueva alternativa, gracias a la oportunidad que nos brinda la red 5G, ya que se puede alcanzar una mayor cobertura con la implementación de una red móvil. Con este antecedente, se procede a analizar cuál es la mejor solución para brindar el servicio de FWA en la parroquia “La Esperanza” en función del análisis de diferentes bandas de frecuencia.

3.5.2 Situación actual de la parroquia La Esperanza perteneciente al cantón Ibarra

La parroquia La Esperanza, es una parroquia rural perteneciente al cantón Ibarra de la provincia de Imbabura, fue fundada el 30 de julio de 1882, su población se levantó en épocas de la colonia debido a la migración de pobladores de Cayambe y Tabacundo (Enciclopedia del Ecuador, 2020).

Se extiende en las faldas del volcán Imbabura, situada al suroeste del cantón Ibarra y se constituye en una de las parroquias rurales más importantes de la región, debido a que sus habitantes se dedican a la agricultura, crianza de animales domésticos, bordados a mano en prendas de vestir y a su comercialización, como se muestra en la Figura 16, y talleres de talabartería que confeccionan monturas, maletas y artefactos finos. Además, su fácil acceso hacia el volcán Imbabura permite la práctica del turismo comunitario, del

agroturismo, de caminatas guiadas al Imbabura, se encuentra alojamiento comunitario, gastronomía típica y programas de voluntariado comunitario; se puede practicar el andinismo, el senderismo y cabalgatas por los alrededores (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial La Esperanza, 2020).



Figura 16 Actividad Económica en la Parroquia la Esperanza

Fuente: Tomado de (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial La Esperanza, 2020)

En la parroquia La Esperanza actualmente CNT EP brinda servicio de Telefonía Fija e Internet bajo los sistemas tradicionales de cobre, es decir cuenta con tendidos de cableados de cobre y fibra óptica sobre postera propia de la empresa y uso compartido con postes de propiedad de EMELNORTE, existiendo así cierta limitación en su despliegue para cubrir toda la población de la mencionada parroquia. De igual manera se dispone de una radio base de la CNT EP, y se encuentra ubicada en las coordenadas $0^{\circ}18'3.87''N$ $78^{\circ}7'15.92''O$, como se muestra en la Figura 17, mediante la cual se brinda Servicio Móvil Avanzado – SMA con tecnología UMTS (3G) en la banda de 1900MHz:



Figura 17 Ubicación geográfica de la Radio Base LA ESPERANZA (3G) de la CNT EP

Fuente: Google Earth, CNT EP.

La presente investigación, fue enfocada en dicha parroquia debido a los antecedentes expuestos, ya que debido a las características que la parroquia presenta en cuanto a desarrollo turístico y productivo, se requiere brindar servicios de calidad a la población de La Esperanza. Además, de existir el interés de la CNT EP de disponer de una base de análisis para el despliegue de FWA en una zona rural característica por su topografía, en este caso de la parroquia que se encuentra en las faldas del volcán Imbabura y con una interesante demanda de servicios de telecomunicaciones por potencial turístico que esta presenta. En función a las simulaciones que se efectúen en el Capítulo IV, se determinará la factibilidad de despliegue de FWA en 5G en la infraestructura de la radio base existente de la CNT EP en la parroquia La Esperanza.

Otro factor importante a considerar es el cálculo de la densidad poblacional y se lo ha realizado en base a los datos del (INEC) del censo del año 2010 y considerando un crecimiento de la población en 1.31% cada año se realiza una proyección de 10 años para obtener un dato referencial al 2020 en la población y la densidad poblacional según la siguiente Tabla (INEC, 2010):

El cálculo de la proyección de la población y la densidad poblacional para el año 2020 en la parroquia la Esperanza se efectúa en base a las siguientes ecuaciones:

$$Población_{2020} = Población_{2010}(1 + 1.31\%)^{10 \text{ años}}$$

Ecuación 1: Proyección Poblacional

$$Densidad\ poblacional = \frac{Población}{superficie\ de\ la\ parroquia}$$

Ecuación 2 Densidad Poblacional

Teniendo como resultad lo siguiente:

Tabla 3 Superficie, población y densidad poblacional de la parroquia La Esperanza

| Nombre de parroquia | Superficie de la parroquia (km2) | Población 2010 | Densidad Poblacional | Población 2020 | Densidad Poblacional 2020 |
|----------------------------|---|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| LA ESPERANZA | 34,17 | 7.363 | 215,48 | 8.386 | 245,41 |

Fuente: Tomado y proyectado de (INEC, 2010)

Con la revisión del marco regulatorio, la situación actual situación actual de la asignación del espectro radioeléctrico, evolución de las redes 5G y análisis características de la parroquia La Esperanza, se permite tener una base del espectro asignado a la CNT para el desarrollo de FWA en 5G, para efectuar las predicciones de cobertura para el análisis del desempeño de FWA en las bandas de 700MHz, 3.5GHz y 24GHz, que se realizaran en el siguiente capítulo.

4. CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se analiza el espectro asignado a la CNT que podría utilizarse para brindar el servicio de FWA tanto en función de las bandas asignadas, así como la información de las redes desplegadas en otros países.

Por otra parte, se incluye los aspectos tecnológicos que se deben tomar en cuenta para el despliegue de la red 5G y sobre todo para el servicio de FWA. Finalmente se realizará el análisis de predicción con el uso de la herramienta ATOLL para las bandas escogidas en la parroquia “La Esperanza”, a través de diferentes modelos de propagación dependiendo de las bandas analizadas.

4.1 Análisis del Espectro Radioeléctrico de la CNT para FWA

En función al espectro radioeléctrico asignado para la CNT y descrito en la Figura 13, del capítulo III, se dispone de un ancho de banda de 50MHz en la banda de 3.5MHz y que actualmente se brinda servicios telefonía a través de equipos de la red WIMAX, mediante la cual la CNT pretende migrar a sus usuarios a la nueva tecnología 5G para potencializar y ampliar los servicios en las zonas de influencia; del mismo modo se dispone de un ancho de banda de 30MHz en la banda de 700MHz, que actualmente se está usando para el Servicio Móvil Avanzado (SMA) con la red 4G, que describe la Tabla 4.

Tabla 4 Asignación de frecuencias CNT EP en 700MHz y 3.5GHz

| RANGO | BANDA | LÍMITE INFERIOR | LÍMITE SUPERIOR | AB (MHZ) | SERVICIO | TECNOLOGÍA |
|-----------------------|-------|--------------------|--------------------|-------------|---|------------|
| 3400 – 3600 MHz | A | 3400 | 3425 | 25 | FWA (telefonía fija inalámbrica) | WIMAX |
| | A` | 3500 | 3525 | 25 | | |
| | D2 | 3485,75 | 3500 | 14,25 | | |
| | D2´ | 3585,75 | 3600 | 14,25 | | |

| | | | | | | |
|-----|----|-----|-----|---|-----|-----|
| 700 | G | 733 | 738 | 5 | SMA | LTE |
| MHz | G' | 788 | 793 | 5 | | |
| | H | 738 | 743 | 5 | | |
| | H' | 793 | 798 | 5 | | |
| | I | 743 | 748 | 5 | | |
| | I' | 798 | 803 | 5 | | |

Fuente: Tomado de (CNT, Corporativo CNT EP, 2017 - 2021)

De acuerdo al desarrollo que se ha tenido en otros países, la red 5G se ha ido desplegando en 3 bandas principalmente, las cuales son: 700MHz, 3.5GHz y 24GHz, en todas estas bandas se han podido lanzar servicios de FWA sobre la red 5G, por tanto esto ha permite que existan varios proveedores con equipamiento así como equipos terminales para los usuarios, lo cual se convierte en una ventaja para la CNT ya que varios de los proveedores que se encuentran desarrollando esta tecnología en otros países son los proveedores que CNT tiene para su Core y su red de Acceso, esto le permitirá elegir el proveedor más adecuado. Por otra parte, y para poder acceder a los anchos de banda que se requiere para FWA es conveniente que mínimo el operador cuente con un ancho de banda de 20MHz continuos, por lo que es pertinente realizar acciones en función a la asignación del espectro radioeléctrico acorde a la Tabla 5:

Tabla 5: Acciones para la asignación del espectro radioeléctrico de la CNT

| Banda | Ancho de banda CNT | Acciones |
|---------------|---------------------------|---|
| 700MHz | 30MHz asignado para LTE | De los resultados, se analizará la posibilidad de gestión de 50MHz |
| 3.5GHz | 50MHz asignado para Wimax | Optimizar el uso del espectro radioeléctrico asignado con el desarrollo de FWA sobre 5G, se requiere migrar los usuarios Wimax. |
| 24GHz | N/A | De los resultados, se analizará la posibilidad de gestión de 50MHz |

Fuente: La autora

Con lo antes descrito, para las pruebas de 5G la ARCOTEL asignó temporalmente el espectro radioeléctrico de la banda de 3.5GHz a la CNT, con una disponibilidad de ancho de banda de 50MHz; donde la CNT realizó diferentes pruebas con los

proveedores, una de las pruebas que se puede tomar como referente para este estudio se realizó en la ciudad de Cuenca, ya que, donde el proveedor proporcionó elementos de la Red de Acceso para tres localidades dentro de la ciudad, lo cual es una base de las pruebas para realizar una proyección similar en la parroquia La Esperanza, con la particularidad de la ubicación geográfica y análisis poblacional de la misma para brindar el servicio de FWA en 5G.

4.1.1 Pruebas Base 5G de la CNT en Cuenca

Las pruebas realizadas en la ciudad de Cuenca también nos servirán como referencia en cuanto al uso de la tecnología, debido a que en la actualidad CNT EP brinda servicios de FWA para telefonía inalámbrica, en esta ciudad. Dentro de las pruebas que se ha venido ejecutando, en conjunto con el proveedor Ericsson se realizó un piloto en la ciudad de Cuenca con el fin de verificar las posibles velocidades que se alcanzarían con la implementación de la red 5G en la banda 3.5 GHz.

Para esto se instaló tres sitios en la zona de influencia de usuarios WIMAX que actualmente brinda la CNT, en los sectores de Ramírez Dávalos, Bellavista y el Centro de Cuenca con una estación cada uno. Estas pruebas se realizaron utilizando el esquema 5G NSA, en el cual se realiza la integración hacia el Core de la red 4G para el procesamiento de llamadas y el servicio de datos.

De las pruebas ejecutadas a nivel de Drive Test, y que consta en el Anexo A del Reporte de Initial Tuning de Pruebas FWA en 5G de la CNT en Cuenca, se obtuvieron niveles de señal buenos y aceptables dentro de la zona de influencia, que se detallan en las Tablas 6 y 7, las verificaciones de velocidad obtenidas con tres equipos de prueba conectados de forma simultánea se obtuvieron velocidades de 20 Mbps similares a las

que se obtienen actualmente en una red de Fibra Óptica. En la Figura 18 presentada a continuación se observan niveles aceptables en la zona de influencia hasta los -110dBm:

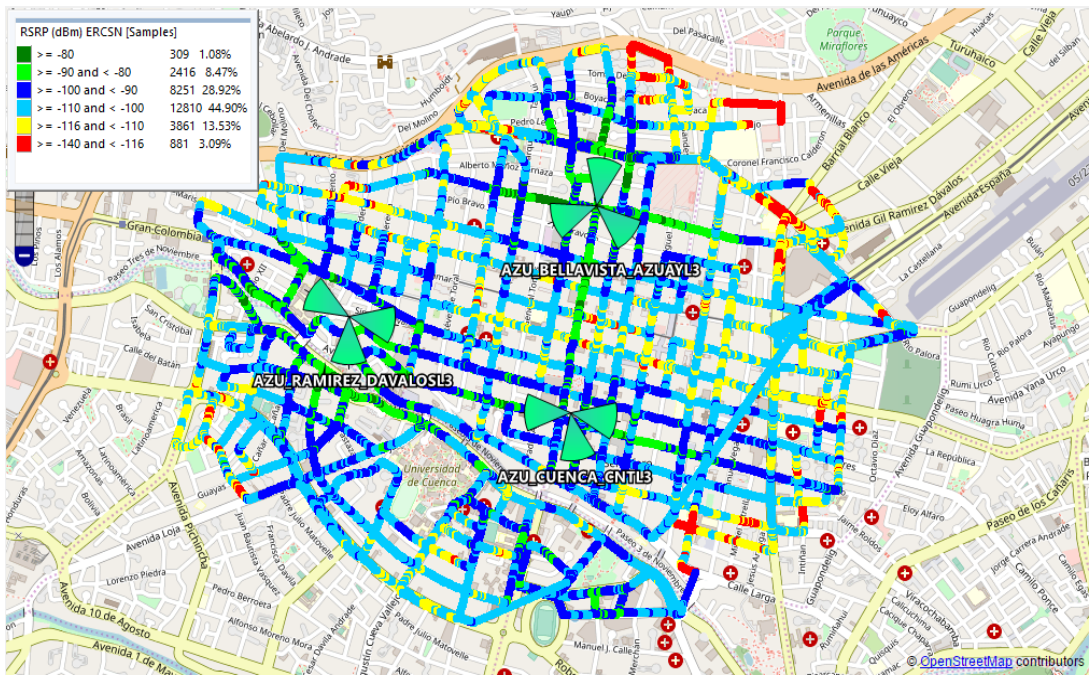


Figura 18 Drive Test Centro de Cuenca

Fuente: Tomado del Reporte Initial Tuning de Pruebas FWA en 5G de la CNT en Cuenca (Anexo A)

A continuación se presentan las velocidades alcanzadas de downlink y uplink en las pruebas realizadas en la ciudad de Cuenca que contiene el la identificación del usuario UE, así como el modo de transmisión en este caso TM3 – MU - MIMO

Tabla 6 Velocidades en downlink alcanzadas con estaciones 5G implementadas en Cuenca.

| DL THROUGHPUT | |
|---------------------|-------------------|
| Identificador de UE | TM3 – MU-MIMO OFF |
| 1 | 21,1 Mbps |
| 2 | 24,0 Mbps |
| 3 | 15,1 Mbps |
| Total | 60,3 Mbps |

Fuente: Tomado del Reporte Initial Tuning de Pruebas FWA en 5G de la CNT en Cuenca (Anexo A)

Tabla 7 Velocidades en uplink alcanzadas con estaciones 5G implementadas en Cuenca.

| UL THROUGHPUT | |
|----------------------------|--------------------------|
| Identificador de UE | TM3 – MU-MIMO OFF |
| 1 | 6,6 Mbps |
| 2 | 2,0 Mbps |
| 3 | 1,8 Mbps |
| Total | 10,4 Mbps |

Fuente: Tomado del Reporte Initial Tuning de Pruebas FWA en 5G de la CNT en Cuenca (Anexo A)

Esta información se tomará como referente para el análisis del despliegue en la parroquia la Esperanza, para brindar el servicio de FWA y el análisis a través de las herramientas de predicción de las posibles velocidades a alcanzar.

4.2 Aspectos tecnológicos requeridos para la implementación del servicio FWA sobre la tecnología 5G

Las redes móviles y fijas en general tienen dos aspectos a considerar el acceso y el core. En el acceso intervienen todos los equipos que se necesitan para dar cobertura o acceso físico a un determinado equipo, en el caso de una red fija será el cableado de cobre, la red de distribución y el DSLAM; en el caso de la red móvil será las radio bases, los equipos de transmisión y los equipos controladores como BSS o RNC (en el caso de 4G no requiere estos equipos).

En el Core se encuentran las centrales de telefonía y las plataformas de datos donde se ejecuta tanto la conmutación de llamadas, así como la asignación de velocidades, y control de cuotas de navegación para un determinado cliente.

En ese sentido, para poder entender el funcionamiento del servicio FWA sobre la red 5G es necesario conocer cómo se realizará la conexión tanto a nivel de Core como de Acceso, y los elementos que intervienen sobre este servicio, considerando que se realizará la implementación de un servicio fijo sobre una red móvil.

4.2.1 Aspecto de Acceso

En el acceso es necesario considerar que se debe configurar las antenas en modulación QAM del tipo MIMO 4x4 con el fin de alcanzar velocidades de descarga mayores a las que se tienen en una red 4G, y que se requieren para brindar el servicio FWA sobre la red 5G, esto en función de las recomendaciones dadas por la GSMA a través de los estándares de la 3GPP (3GPP, 3GPP ORG, 2014) y (3GPP, 3GPP TR 21.915 V15.0.0 , 2019).

Para las bandas 3.5 GHz y 24 GHz se utiliza el método de duplexación por división de frecuencia (FDD) y para la banda 700 MHz se utiliza el método de duplexación por división de tiempo (TDD).

Los elementos del acceso que se requieren son las antenas que soporten las bandas para las pruebas, que se describen en la Figura 19, y son un equipo banda base, un equipo GPS, y los equipos terminales CPE con su respectivo ODU e IDU.



Figura 19 Red Acceso para FWA

Fuente: La autora

Lo mínimo en ancho de banda que se requiere en la red 5G es de 20 MHz contiguos, tal como se indicó anteriormente para poder brindar las velocidades de FWA que se necesitan (GSMA, 2019).

Adicionalmente a nivel de transmisión desde los equipos de Acceso hasta los equipos de Core se requiere un enlace de mínimo 1 Gbps, enlaces menores afectarán directamente al desempeño de los equipos (GSMA, 2019).

Es importante reconocer el objetivo de brindar el servicio de FWA radica principalmente en poder llegar a dar servicios de banda ancha en zonas de difícil acceso, a pesar de que, en algunos países, como es el caso de Estados Unidos, se ha realizado el despliegue para brindar el servicio dentro de las grandes metrópolis.

4.2.2 Aspectos de Core

Actualmente los elementos de Core que se utilizan para la red 5G son los mismos que se utilizan para la red móvil actual, a este tipo de escenario se lo conoce como 5G Stand Alone.

Por tanto, en el caso de la CNT, la red de Core que se encuentra implementada es la se muestra en la Figura 20:

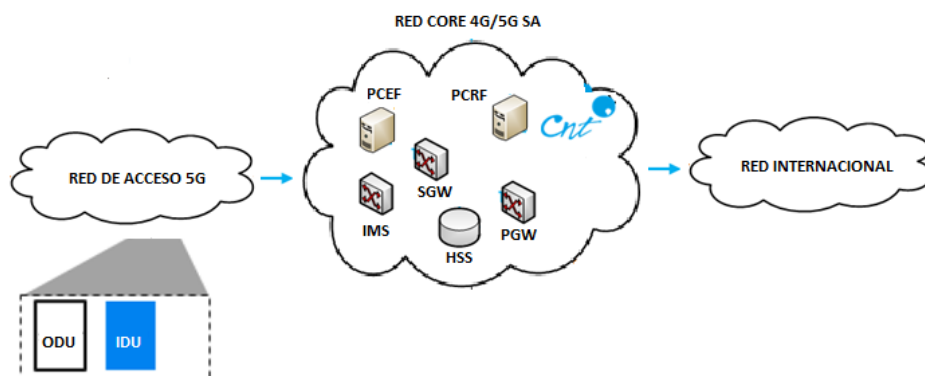


Figura 20 Red Core 4G/5G SA para FWA

Fuente: La autora

La forma en la que los servicios fijos funcionan bajo una red móvil, es a través de los equipos terminales que se asignen al usuario, por ejemplo, para la telefonía fija es necesario un equipo VoIP (voz sobre IP) y a través de la red de core se le asignará un número fijo, a esto se lo conoce como convergencia móvil. Para lograr evitar la movilidad en estos equipos se realizan restricciones dentro de las áreas locales configuradas en el core y así un servicio móvil se transforma en un servicio fijo.

Con respecto al servicio de datos, y el cual es el objetivo del estudio, el terminal que se utiliza para brindar el servicio de FWA tiene dos equipos, el primero es una antena pequeña que se puede poner en el exterior de la casa o en la ventana, a este equipo se lo conoce como “*Unidad Exterior*” (ODU), y otro equipo que servirá como el equipo WIFI interior que se lo conoce como “*Unidad Interior*” (IDU).



Figura 21 Terminales de datos FWA IDU y ODU

Fuente: Tomado de (Verizon, S/F)

De la misma forma que se realiza para el servicio de voz, en el caso de datos se realiza un bloqueo para evitar que el terminal tenga movilidad, esto se realiza a través del IMSI asignado a la SIM Card del terminal, en el cual se inhabilita el servicio en zonas diferentes a las asignadas, adicionalmente para que el servicio de FWA sea efectivo es necesario que el equipo tenga línea de vista directa a las antenas de 5G,

cualquier variación de esta implementación repercutirá directamente en las velocidades de navegación.

4.3 Herramienta de simulación y predicción ATOLL

ATOLL (Advanced Trainer On Localizer) es una herramienta desarrollada por la empresa FORKS, utilizada para el diseño y optimización de redes inalámbricas multi-tecnología que apoya a los operadores móviles en todo el ciclo de vida de la red, desde el diseño inicial hasta la densificación y la optimización.

ATOLL es un sistema de información técnico abierto, escalable y flexible que puede integrarse fácilmente en otros sistemas de telecomunicaciones, aumentando la productividad y reduciendo los tiempos de desarrollo.

Entre las propiedades avanzadas en el diseño de redes, soporta varias tecnologías como herramienta de simulación y predicción, permite el cálculo de propagaciones de altas prestaciones, soporta redes multicapas y jerárquicas, modelado de tráfico, planificación automática de frecuencias y códigos y optimización de red (Rodríguez & Arias, 2013).

4.3.1 Características principales

La herramienta ATOLL QUE SIGNIFICA ATOLL agiliza los procesos de diseño y optimización de redes debido a que presenta las siguientes características:

- Modela redes de MultiTecnología, al modelar aspectos relacionados con el tráfico y distribuir el tráfico de forma dinámica en las capas de redes 2G, 3G, 4G y 5G

- Modelar redes 5G junto con el soporte para la propagación de mmWave, el MIMO masivo y la formación de haz 3D, proporcionan a los operadores un marco flexible y evolutivo para el diseño.
- La predicción, la planificación y optimización son basadas en mediciones pre configuradas en el sistema, así como también se interconecta con el Sistema GIS

En la Figura 22 muestra, la pantalla principal de la herramienta ATOLL.

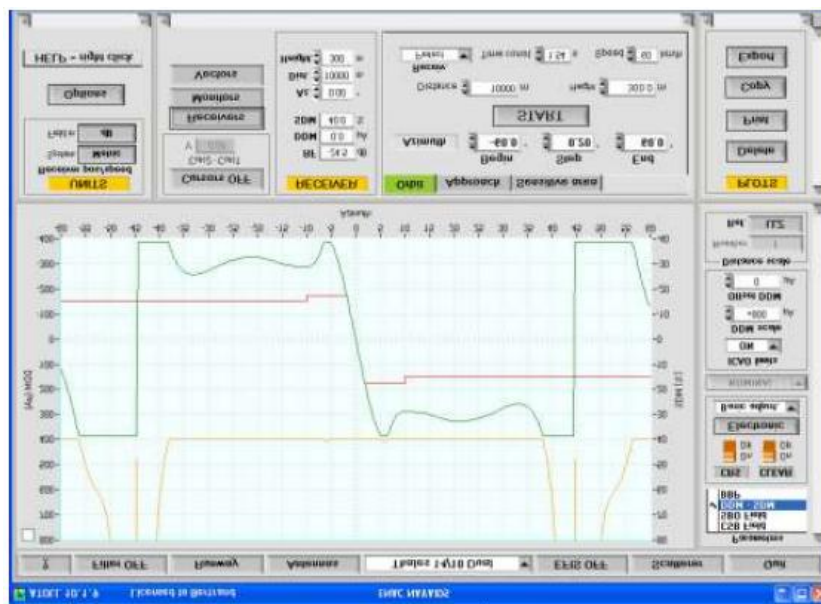


Figura 22 Pantalla principal Software ATOLL

Fuente: Tomado de la Herramienta ATOLL

Con estos antecedentes, actualmente la CNT EP dispone de esta herramienta con la respectiva licencia y que se facilitó para la ejecución de las predicciones de cobertura de la presente investigación.

4.4 Análisis de cobertura en la parroquia “La Esperanza” de la provincia de Imbabura.

En el capítulo 3, se analizó las diferentes bandas que se están utilizando por los operadores internacionales para el despliegue de la red 5G y brindar el servicio de FWA, de lo investigado se identificó que en Europa se está utilizando la banda de 700 MHz para el despliegue de la red 5G con el fin de cubrir la mayor parte de terreno con una menor cantidad de estaciones dentro del despliegue y otros operadores que han realizado su despliegue en bandas de 3.5 MHz; en el caso de Estados de Unidos para el servicio de FWA se está utilizando una banda milimétrica, con el fin de permitir alcanzar mayores velocidades de navegación,

Por tanto, se tomarán estas bandas como referencia dentro del análisis de esta investigación, y donde se ejecutarán diferentes predicciones de cobertura con la herramienta ATOLL, la misma que a través de modelos de propagación puede mostrar las posibles coberturas y las velocidades teóricas que se lograrán alcanzar.

Para la herramienta es necesario inicialmente cargar los mapas de cobertura de Ecuador, una vez realizada la carga se procede a buscar la zona a analizar que en este caso será la parroquia La Esperanza y se procede a señalar la porción de terreno que se cubrirá, que es la línea de color rojo dentro de la Figura 23, tal como se muestra a continuación:

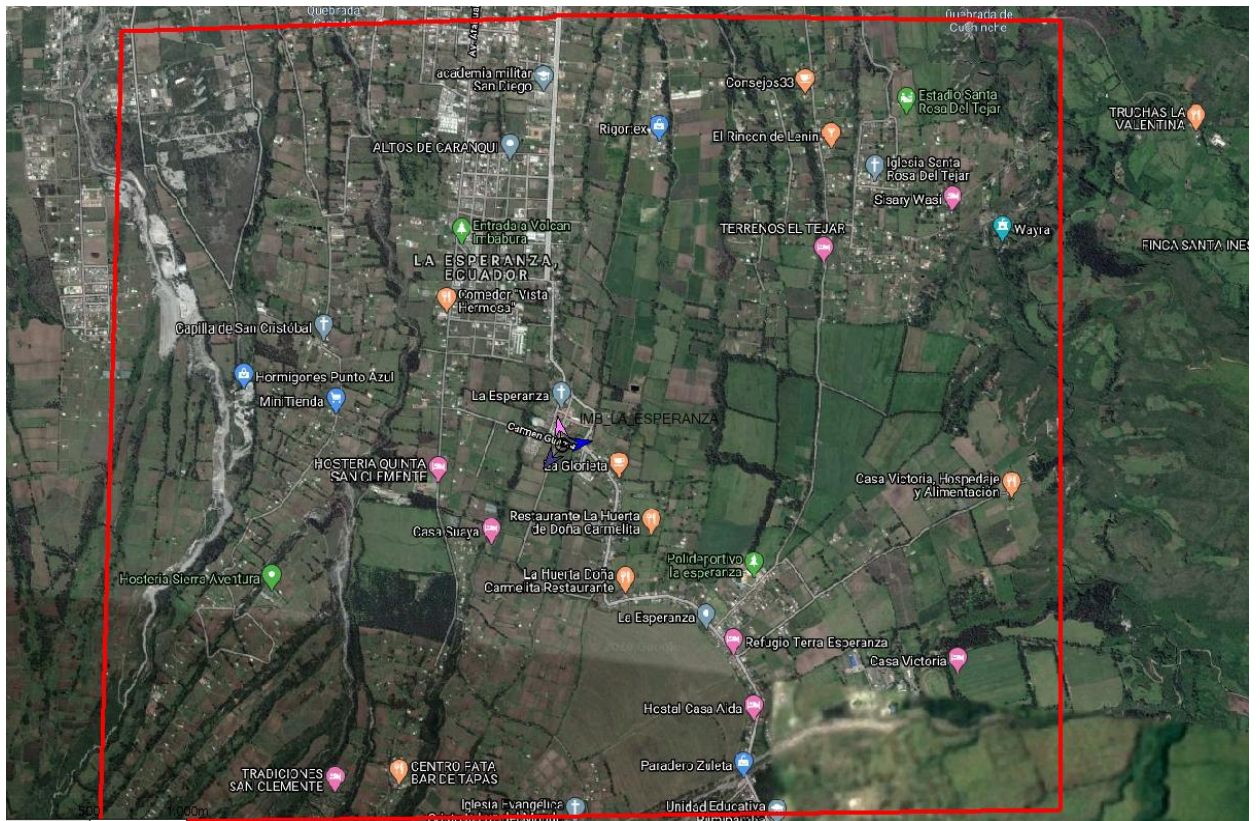


Figura 23: Mapa de la Parroquia La Esperanza

Fuente: Mapa cargado en la herramienta ATOLL de la CNT

Como se muestra en la Figura 23, se puede identificar que existe una mayor concentración de población en la zona central de la parroquia, y existen algunas poblaciones dispersas que se podrían identificar como haciendas y hosterías de la zona. Por tanto, a través de la herramienta se analizará dentro de esta zona como influenciará una u otra banda de frecuencia escogida dentro de este estudio.

Dentro de la herramienta de predicción es necesario cargar la información de la Antena a utilizar, dicha información contiene los lóbulos de radiación que genera esta antena, así como la ganancia esperada. A partir de estos datos la herramienta construirá los modelos de propagación en función de fórmulas establecidas.

La selección de los tipos de antenas se basa en función a las frecuencias de operación, acorde a las bandas disponibles y/o planificadas para la CNT según el

análisis de la presente investigación para el proyecto FWA en 5G, la ganancia por diversidad y multiplicación, lóbulos de radiación para cubrir el área objetivo. La determinación de las antenas también tiene alta relevancia por los proveedores calificados por la CNT, en este caso con Ericsson, y por el acoplamiento en el desempeño con los elementos de conexión, cumpliendo con los requerimientos de aislamiento entre los puertos entre antenas y equipos.

4.4.1 Análisis banda 700MHZ

Para el análisis de la banda 700 MHz para el servicio FWA sobre la red 5G, se utilizará una antena de marca Kathrein provista por Ericsson y que tiene una ganancia de 15,2 dBi, dentro de los rangos de frecuencias que mantiene la CNT para la red 4G. Los parámetros de configuración de la antena se describen en la Figura 24, y que ya se encuentran registrados dentro el Sistema ATOLL.

The image shows a software window titled "700_ERICSSON Properties" with a close button (X) and a help button (?). It has three tabs: "General", "Horizontal Pattern", and "Vertical Pattern". The "General" tab is selected and contains the following fields:

- Name: 700_ERICSSON
- Physical antenna: 80010865
- Manufacturer: Kathrein
- Half-power beamwidth: 69,8 °
- Gain: 15,2 dBi
- Pattern section:
 - Electrical tilt: 0 °
 - Electrical azimuth: °
- Frequencies section:
 - Min: 698 MHz
 - Max: 960 MHz
- Comments: (empty text area)

At the bottom, there are navigation buttons (back, forward, etc.) and three main action buttons: "Aceptar" (highlighted in blue), "Cancelar", and "Aplicar".

Figura 24: Características de la Antena en 700MHZ

Fuente: Propiedades de la antena en 700 MHz en la herramienta ATOLL de la CNT

Para la antena a utilizarse, los lóbulos de radiación horizontal y vertical que se encuentra establecido en la herramienta y se muestra en la Figura 25 son los siguientes:

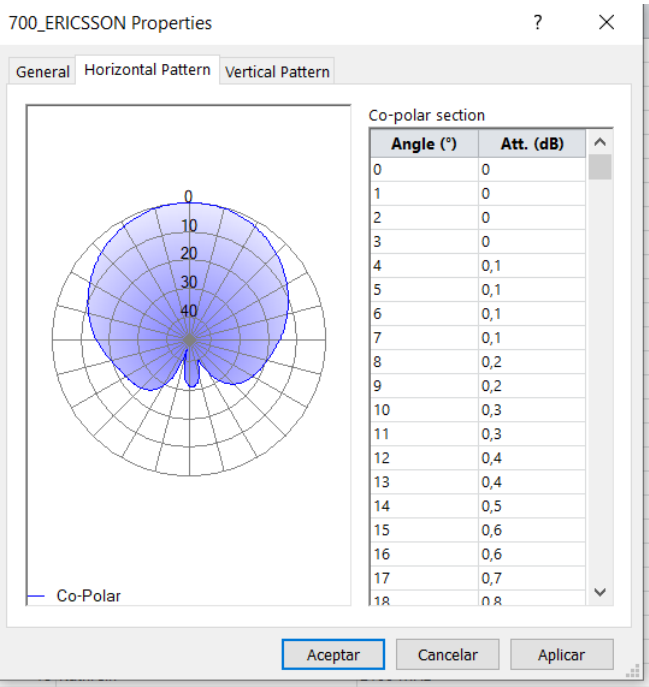


Figura 25: Lóbulos de radiación Horizontal

Fuente: Propiedades de la antena en 700 Mhz en la herramienta ATOLL de la CNT

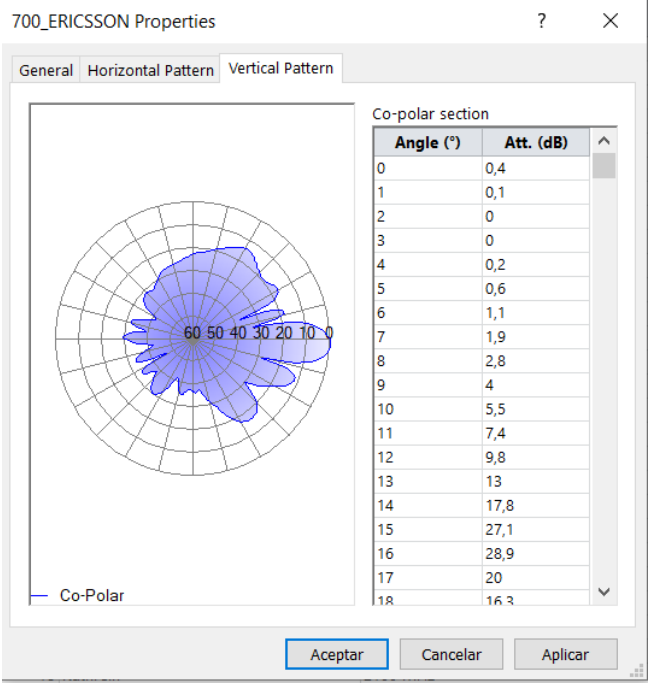


Figura 26: Lóbulos de radiación Vertical

Fuente: Propiedades de la antena en 700 Mhz en la herramienta ATOLL de la CNT

Para ejecutar la predicción dentro del mapa se requiere que se indique el tipo de predicción a realizar, en este caso al ser una banda baja se utilizará el modelo teórico de propagación Okumura Hata, donde dentro de la herramienta se encuentra establecidos los siguientes parámetros dentro del protocolo que se encuentran descritos en la Figura 27:

Okumura-Hata URB LC Properties

General Configuration

| | |
|---|---------------------|
| Add diffraction loss | 1 - Yes |
| Limitation to free space loss | 1 - Yes |
| Formulas assigned to clutter classes | |
| Default formula | Urban (large city) |
| 1 - sea | 0 - Default formula |
| 2 - Inland water | 0 - Default formula |
| 3 - wet land | 0 - Default formula |
| 4 - Open in SubUrban | 0 - Default formula |
| 5 - Open in urban | 0 - Default formula |
| 6 - green land | 0 - Default formula |
| 7 - forest | 0 - Default formula |
| 8 - Super_high_Buildings (heights > 40m) | 0 - Default formula |
| 9 - hight buildings (heights > 40m) | 0 - Default formula |
| 10 - Dense urban high (heights 40m~20m) | 0 - Default formula |
| 11 - Dense urban (height < 20m) | 0 - Default formula |
| 12 - Residential high (height < 20m) | 0 - Default formula |
| 13 - Industrial and commercial (height < 20m) | 0 - Default formula |
| 14 - Dense urban low (height < 20m) | 0 - Default formula |
| 15 - Villages | 0 - Default formula |
| Additional loss per clutter class (dB) | |
| 1 - sea | 0 |
| 2 - Inland water | 0 |
| 3 - wet land | 0 |
| 4 - Open in SubUrban | 0 |
| 5 - Open in urban | 0 |
| 6 - green land | 0 |
| 7 - forest | 0 |

Formulas...

Aceptar Cancelar Aplicar Ayuda

Figura 27: Propiedades del modelo de propagación Okumura Hata

Fuente: Información de la herramienta ATOLL de la CNT

Del análisis realizado en la parroquia la Esperanza, tiene una zona de concentración de población en el centro y muy poca población dispersa, por tanto, técnicamente se considera a esta población como suburbana. Con este detalle se escoge en la herramienta la fórmula para este tipo de población, y automáticamente utilizando las fórmulas teóricas de Okumura Hata se realizará la predicción dentro de la zona.

The screenshot shows the 'Formulas' dialog box in the Atoll software. On the left, there is a list of propagation models: Urban (medium-small city), Urban (large city), Suburban (selected), Rural (quasi-open), Rural (open area), and URBAN. On the right, the formula for 'Suburban' is displayed. The Name field is 'Suburban'. The Lu equation is $69,55 + 26,16 \log f - 13,82 \log H_b + (44,9 - 6,55 \log H_b - 0 \log d) \log d$. The a(Hr) equation is $(1,1 \log f - 0,7) H_r - (1,56 \log f - 0,8)$, with a dropdown menu set to 'Rural/Small city'. The Total equation is $Lu - a(Hr) - 2 \log^2(f/28) - 5,4$, with a dropdown menu set to 'Suburban'. The Diffraction multiplying factor is set to 1. At the bottom, there are buttons for Add, Delete, OK, Cancel, and Help.

Figura 28: Descripción Fórmula del modelo de propagación Okumura Hata

Fuente: Información de la herramienta Atoll de la CNT

Con la antena de 700 MHz y según los lóbulos de radiación y el modelo de propagación de Okumura Hata, que se muestra en la Figura 29, se tendría la siguiente predicción de cobertura en la parroquia “La Esperanza” para el servicio FWA en 5G. Dentro de esta predicción se puede ver los niveles de RCSP que se alcanzarían con dicha antena, donde se puede ver que con niveles de hasta -90 dBm se encuentra cubierta la mayor parte de la zona poblada y con -100 dBm se cubriría el resto de la población, los cuales son niveles buenos para obtener mayores velocidades de navegación.

4.4.2 Análisis banda 3.5 GHz

Con respecto a la banda 3.5 GHz el análisis del servicio FWA sobre la red 5G, se realizará con una antena de marca CommScope provista por Ericsson, con una ganancia de 20.14 dBi, dentro de los rangos de frecuencias 3.3 GHz a 3.8 GHz. Los parámetros de configuración de la antena se describen en la Figura 31, y que se encuentran registrados dentro el Sistema ATOLL.

3.5 FWA Properties

General Horizontal Pattern Vertical Pattern

Name: 3.5 FWA

Physical antenna:

Manufacturer: CommScope

Half-power beamwidth: 88 ° Gain: 20,14 dBi

Pattern

Electrical tilt: 0 °

Electrical azimuth: °

Frequencies

Min: 3.300 MHz

Max: 3.800 MHz

Comments:

24-port sector antenna, 4x 694-960 and 4x 1695-2690 MHz 65 deg. HPBW, 8x .

Aceptar Cancelar Aplicar

Figura 31: Características de la Antena en 3.5 GHz

Fuente: Propiedades de la antena en 3.5 GHz en la herramienta ATOLL de la CNT

Para esta antena, los lóbulos de radiación horizontal y vertical que se encuentra establecido en la herramienta son los siguientes:

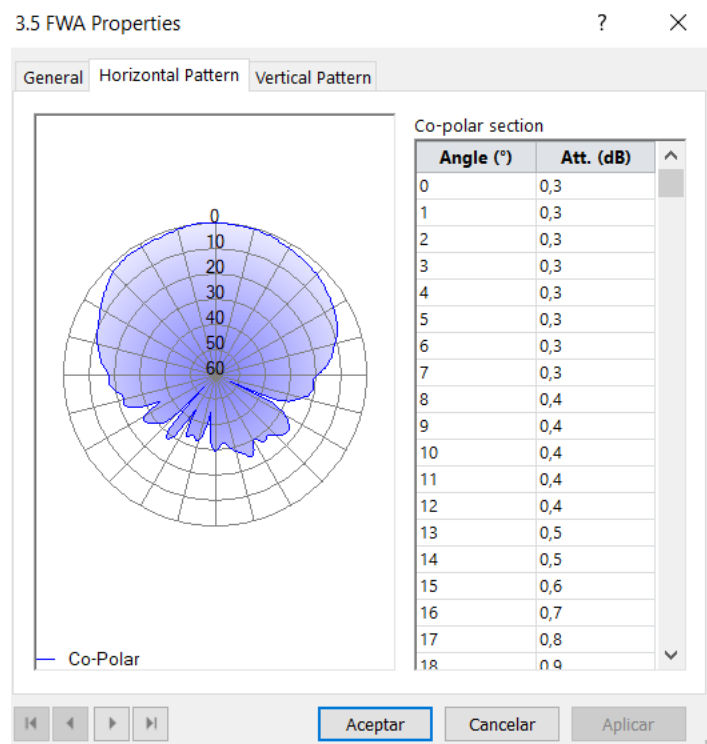


Figura 32: Lóbulos de radiación Horizontal

Fuente: Propiedades de la antena en 3.5 Ghz en la herramienta Atoll de la CNT

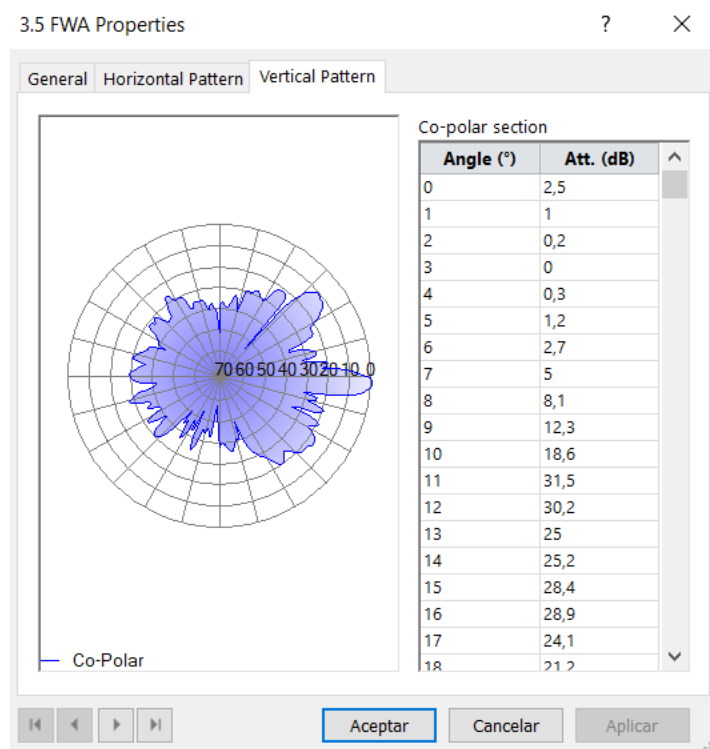


Figura 33: Lóbulos de radiación Vertical

Fuente: Propiedades de la antena en 3.5 GHz en la herramienta Atoll de la CNT

Para ejecutar la predicción es necesario establecer nuevamente el tipo que se utilizará para modelar la propagación para esta banda en la parroquia “La Esperanza”, en este caso al ser una banda media se utilizará el modelo teórico de propagación Cost Hata, para lo cual en la herramienta se encuentra establecidos los siguientes parámetros:

| Cost-Hata Properties | |
|---|------------------------------|
| Configuration | |
| Add diffraction loss | 1 - Yes |
| Limitation to free space loss | 1 - Yes |
| Formulas assigned to clutter classes | |
| Default formula | Medium sized city & suburban |
| 1 - sea | 0 - Default formula |
| 2 - Inland water | 0 - Default formula |
| 3 - wet land | 0 - Default formula |
| 4 - Open in SubUrban | 0 - Default formula |
| 5 - Open in urban | 0 - Default formula |
| 6 - green land | 0 - Default formula |
| 7 - forest | 0 - Default formula |
| 8 - Super_high_Buildings (heights > 40m) | 0 - Default formula |
| 9 - high buildings (heights > 40m) | 0 - Default formula |
| 10 - Dense urban high (heights 40m~20m) | 0 - Default formula |
| 11 - Dense urban (height < 20m) | 0 - Default formula |
| 12 - Residential high (height < 20m) | 0 - Default formula |
| 13 - Industrial and commercial (height < 20m) | 0 - Default formula |
| 14 - Dense urban low (height < 20m) | 0 - Default formula |
| 15 - Villages | 0 - Default formula |
| Additional loss per clutter class (dB) | |
| 1 - sea | 0 |
| 2 - Inland water | 0 |
| 3 - wet land | 0 |
| 4 - Open in SubUrban | 0 |
| 5 - Open in urban | 0 |
| 6 - green land | 0 |
| Formulas... | |
| Aceptar Cancelar Aplicar Ayuda | |

Figura 34: Propiedades del modelo de propagación Cost Hata

Fuente: Información de la herramienta Atoll de la CNT

Como se indicó anteriormente la parroquia la Esperanza es considerada técnicamente como suburbana por la concentración de la población. Con este detalle se escoge en la herramienta la fórmula, y automáticamente utilizando las fórmulas teóricas de Cost Hata se realizará la predicción dentro de la zona.

cubierta la zona central poblada y con -100 dBm se cubre la zona poblada, donde se tendría niveles buenos para obtener mayores velocidades de navegación.

En la siguiente gráfica se muestra la cantidad de terreno que se cubre con buenos niveles de cobertura, en el cual se indica que se cubre alrededor de 3,774 Km² de 16,8 Km² en la parroquia “La Esperanza”.

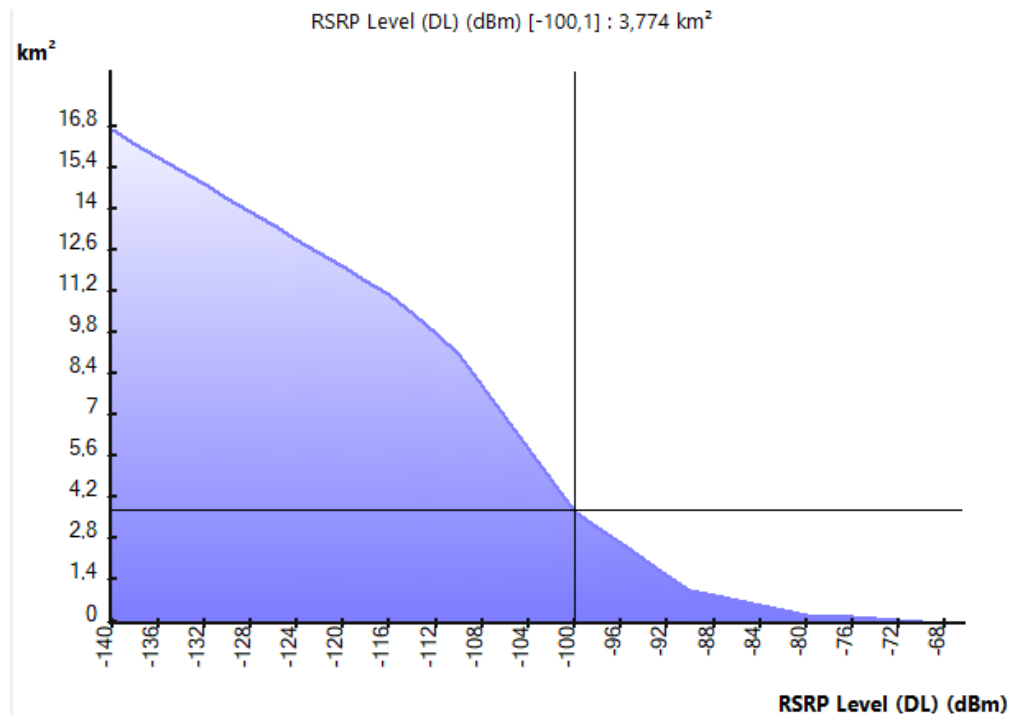


Figura 37: Cantidad de terreno cubierto con niveles buenos de cobertura para la banda 3.5 GHz

Fuente: Información de la herramienta Atoll de la CNT

4.4.3 Análisis banda 24 GHz

Sobre la banda milimétrica, para esta simulación se realizará el análisis del servicio FWA sobre la red 5G en la banda de 24 GHz, esta antena tiene una ganancia de 14.5 dBi, dentro de los rangos de frecuencias de 24 GHz a 25 GHz. En el mercado ecuatoriano todavía no se tienen estas antenas, en vista de que no se tienen servicios explotados en esta banda.

24 Ghz Properties

General Horizontal Pattern Vertical Pattern

Name: 24 Ghz

Physical antenna: Smart Antenna

Manufacturer: None

Half-power beamwidth: 90 ° Gain: 14,5 dBi

Pattern Frequencies

Electrical tilt: 0 °

Electrical azimuth: 0 °

Min: 24,000 MHz

Max: 25,000 MHz

Comments: Smart antenna element pattern

Aceptar Cancelar Aplicar

Figura 38. Características de la Antena en 24 GHz

Fuente: Propiedades de la antena en 24 GHz en la herramienta Atoll de la CNT

Para esta antena, los lóbulos de radiación horizontal y vertical que se encuentra establecido en la herramienta son los siguientes:

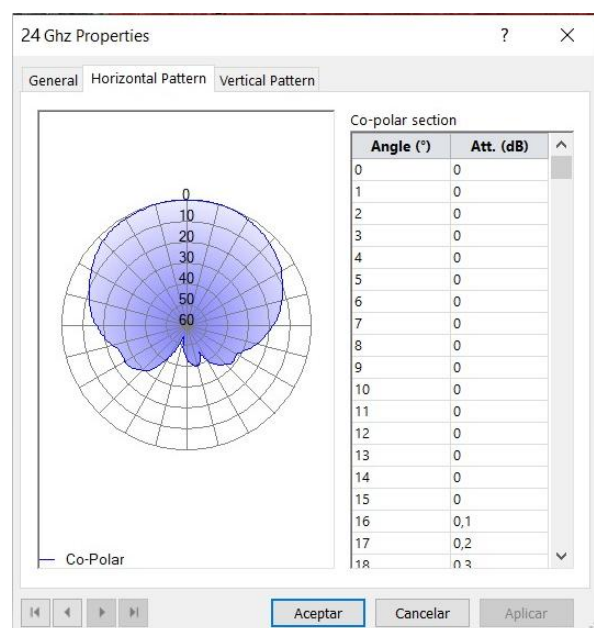


Figura 39. Lóbulos de radiación Horizontal

Fuente: Propiedades de la antena en 24 Ghz en la herramienta Atoll de la CNT

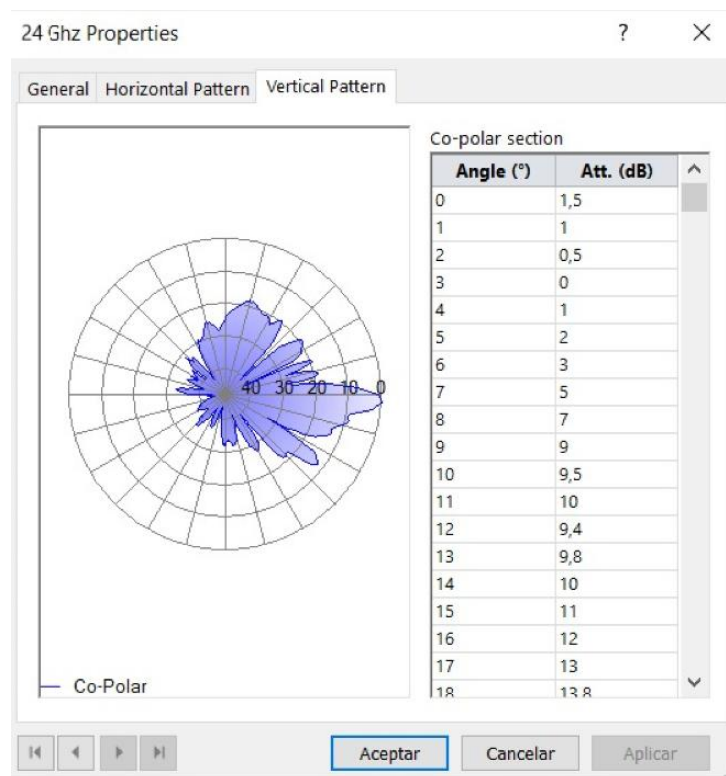


Figura 40. Lóbulos de radiación Vertical

Fuente: Propiedades de la antena en 3.5 GHz en la herramienta Atoll de la CNT

Para ejecutar la predicción es necesario establecer nuevamente el tipo que se utilizará para modelar la propagación para esta banda en la parroquia “La Esperanza”, en este caso al ser una banda milimétrica se utilizará el modelo teórico de propagación Cost Hata, para lo cual en la herramienta se encuentra establecidos los siguientes parámetros:

Cost-Hata Properties

General Configuration

Add diffraction loss: 1 - Yes
 Limitation to free space loss: 1 - Yes

Formulas assigned to clutter classes

| Default formula | Medium sized city & suburban |
|---|------------------------------|
| 1 - sea | 0 - Default formula |
| 2 - Inland water | 0 - Default formula |
| 3 - wet land | 0 - Default formula |
| 4 - Open in SubUrban | 0 - Default formula |
| 5 - Open in urban | 0 - Default formula |
| 6 - green land | 0 - Default formula |
| 7 - forest | 0 - Default formula |
| 8 - Super_high_Buildings (heights > 40m) | 0 - Default formula |
| 9 - hight buildings (heights > 40m) | 0 - Default formula |
| 10 - Dense urban high (heights 40m~20) | 0 - Default formula |
| 11 - Dense urban (height < 20m) | 0 - Default formula |
| 12 - Residential high (height < 20m) | 0 - Default formula |
| 13 - Industrial and commercial (height < 20m) | 0 - Default formula |
| 14 - Dense urban low (height < 20m) | 0 - Default formula |
| 15 - Villages | 0 - Default formula |

Additional loss per clutter class (dB)

| | |
|----------------------|---|
| 1 - sea | 0 |
| 2 - Inland water | 0 |
| 3 - wet land | 0 |
| 4 - Open in SubUrban | 0 |
| 5 - Open in urban | 0 |
| 6 - green land | 0 |
| 7 - forest | 0 |

Buttons: Aceptar, Cancelar, Aplicar, Ayuda

Figura 41. Propiedades del modelo de propagación Cost Hata

Fuente: Información de la herramienta Atoll de la CNT

Como se indicó anteriormente la parroquia la Esperanza es considerada técnicamente como suburbana por la concentración de la población. Con este detalle se escoge en la herramienta la fórmula, y automáticamente utilizando las fórmulas teóricas de Cost Hata se realizará la predicción dentro de la zona.

Formulas

Metropolitan center
Medium sized city & suburban
 Rural (quasi-open)
 Rural (open area)

Name: Medium sized city & suburban

Lu = $46,3 + 33,9 \log f - 13,82 \log H_b + (44,9 - 6,55 \log H_b - 0 \log H_b) \log d$

a(Hr) = $(1,1 \log f - 0,7) H_r - (1,56 \log f - 0,8)$ Rural/Small city

Total = Lu - a(Hr) Urban

Diffraction multiplying factor: 1

Buttons: Add, Delete, OK, Cancel, Help

Figura 42. Fórmula del modelo de propagación Cost Hata

Fuente: Información de la herramienta Atoll de la CNT

Para el caso de la antena de 24 GHz y según los lóbulos de radiación y el modelo de propagación Cost Hata se tendría la siguiente predicción de cobertura en la parroquia “La Esperanza” para el servicio FWA en 5G.

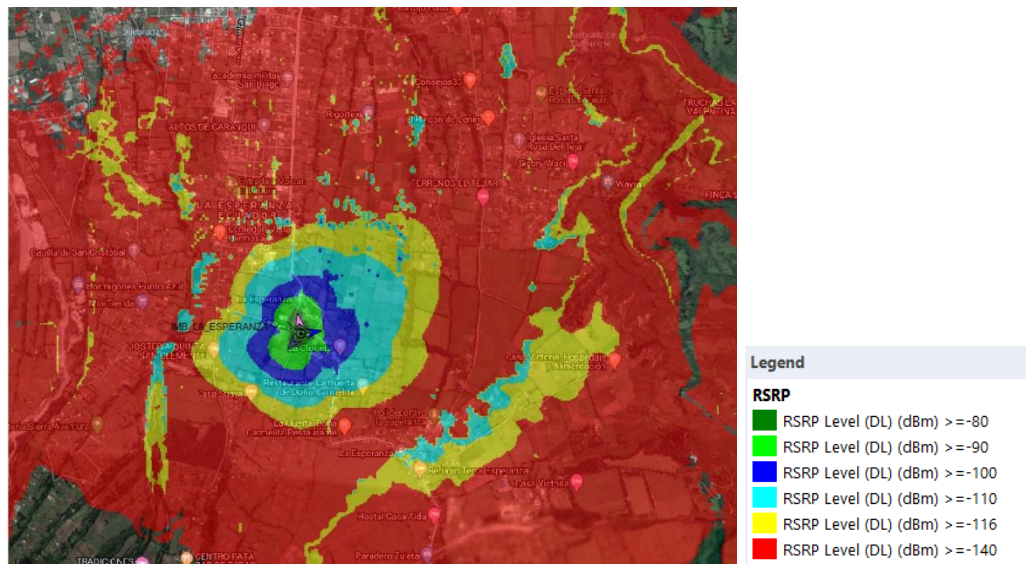


Figura 43. Modelo de propagación Cost Hata en banda 24 GHz para la parroquia “La Esperanza”

Fuente: Información de la herramienta Atoll de la CNT

Dentro de esta predicción se puede ver los niveles de RCSP que se alcanzarían con dicha antena, es bajo en comparación con las otras bandas revisadas, la cobertura es bastante reducida, por lo cual con una sola antena no se lograría cubrir la zona poblada.

5. CAPITULO V

PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN Y ASIGNACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

En este capítulo se analizará cada una de las bandas y se realizará la propuesta más adecuada para CNT con respecto al despliegue del servicio FWA en 5G para la parroquia “La Esperanza”, una vez que se cuenta con la información de las predicciones obtenidas en el capítulo 4.

Para esto se analizará la cantidad de usuarios que podrán acceder a velocidades iguales o superiores a 20 Mbps, en cada una de las bandas estudiadas anteriormente.

Y finalmente se recomendará las acciones que debe realizar la CNT para solicitar la asignación de la banda al ente regulador de las telecomunicaciones.

5.1 Propuesta de distribución y asignación del espectro radioeléctrico

En el capítulo IV, se analizó los requerimientos de la red de acceso y Core que se necesita para la implementación de la red 5G, sobre esto a nivel de Core se puede realizar a través de las plataformas de datos utilizadas en la red 4G y es independiente de la banda de frecuencia de acuerdo al esquema 5G SA implementado actualmente a nivel mundial (GSMA, 2019).

Con respecto a la red de acceso, se debe analizar cual banda se adapta mejor a las necesidades de cobertura en la parroquia “La Esperanza” y que satisfaga el objetivo que es brindar el servicio FWA a través de la red 5G. En vista de esto en el Capítulo IV se realizaron las predicciones de cobertura en las bandas 700 MHz, 3.5 GHz y 24 GHz. Los resultados obtenidos de la predicción dieron las siguientes premisas:

Tabla 8 Premisas sobre las predicciones de cobertura en las bandas de 700MHz, 3.5GHz y 24GHz.

| BANDA FRECUENCIA | PREMISAS |
|------------------|--|
| 700 MHZ | Cubre la mayor parte de la parroquia “La Esperanza” con buenos niveles. Incluso llega a cubrir la parte periférica de la parroquia. |
| | Con una única radio base con tres sectores se cubre la parroquia. |
| | Los modelos de equipos terminales para la conexión de FWA son limitados |
| 3.5 GHz | Cubre la parte poblada de la parroquia “La Esperanza” con buenos niveles de cobertura. Llega a la zona periférica con niveles medios de cobertura. |
| | Con una única radio base con tres sectores se cubre la parroquia. |
| | Mayor gama de equipos terminales para la conexión de FWA. |
| 24 GHZ | Tiene poca cobertura con buenos niveles en la zona poblada de la parroquia “La Esperanza”. No cubre la parte periférica. |
| | Se requerirá más de una radio base para llegar a cubrir la parroquia. |
| | Mayor gama de equipos terminales para la conexión de FWA. |

Fuente: La autora

En vista de las predicciones de cobertura se puede determinar que las bandas que más le favorecerían a la CNT para la implementación del servicio FWA son la de 700 MHz y de 3.5 GHz.

Sin embargo se debe también realizar el análisis de la cantidad de usuarios que podrían tener el servicio de FWA con estas bandas, ya que el objetivo sería captar la mayor cantidad de usuarios y que la red se rentabilice.

El plan que más se comercializa en la CNT es el de 20 Mbps en la red GPON desplegada, En vista de esto para este modelo se tomará esta velocidad como premisa para el cálculo de la cantidad de clientes en la parroquia “La Esperanza”.

Además de las velocidades asumimos que la CNT va a llegar a tener 20MHz de ancho de banda en la frecuencia de la red 5G en la banda de 700 MHz, y que los nodos de 5G tendrán cuatro receptores y cuatro transmisores 4T4R (modelo actualmente utilizado en la CNT).

Con estas premisas se realiza el cálculo a través una tabla propietaria de Huawei, actual proveedor de la red de Core de la CNT, para el caso de 700 MHz, dicha tabla se muestra en la Figura 44:

| Legend | | | | | |
|--------|------------------|--|--|--|--|
| | Input Value | | | | |
| | Auto-Calculation | | | | |
| | Typical Value | | | | |

| | | | | | |
|--------------------|-------------------------------|-------------|-------|-------------|-------|
| Network | Scenario | Urban | | | |
| | TDD eNodeB Type | 4T4R | | | |
| | Bandwidth MHz(WTTx Target BW) | 20 | | | |
| CPE | Indoor/Outdoor | Indoor CPE | | Outdoor CPE | |
| | 1T2R/1T4R | 1T2R | 1T4R | 1T2R | 1T4R |
| | Cell Capacity Mbps | 28,75 | 45,00 | 34,50 | 54,00 |
| | Type Proportion | 100% | 0% | 0% | 0% |
| Resource Usage | Max Resource Using Proportion | 80% | | | |
| | WTTx proportion (Exclude MBB) | 100% | | | |
| Available Capacity | WTTx per Site Capacity Mbps | 69,00 | | | |
| Package-based | Speed-based or Volume-based | Speed-based | | | |

| | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|------|----|----|
| Speed-based WTTx Speed | Users Speed Mbps | 20 | 10 | 2 |
| | User Proportion | 100% | 0% | 0% |
| Speed-based Speed Traffic Mode | Contention Ratio | 50% | | |
| | User Active Ratio | 80% | | |
| | Service Active or Duty Ratio | 15% | | |
| | Overbooking Ratio | 6% | | |

| | | | | |
|-------------------------------------|--|------|-----|-----|
| Volume-based WTTx Volume | Data volume per month per user GB | 100 | 60 | 35 |
| | User Proportion | 30% | 50% | 20% |
| Volume-based Volume Traffic Mode | Days per month | 30,4 | | |
| | Traffic Proportion of busy hour to whole day | 8% | | |
| | Down Link Proportion of busy hour | 90% | | |
| | DL Busy hour throughput per subscriber Mbps | 0,36 | | |

| | | |
|--------|-------------------------|----|
| Result | Allocation User Numbers | 58 |
|--------|-------------------------|----|

Figura 44 Cálculo de cantidad de usuarios en la banda de 700MHz.

Fuente: Proveedor de la plataforma de Core de la CNT EP

Para el caso de la banda 3.5 GHz, al ser una banda media se asume que la CNT va a llegar a tener 40MHz de ancho de banda en la frecuencia de la red 5G en vista de tiene mayor espectro, y que los nodos de 5G tendrán cuatro receptores y cuatro transmisores 4T4R (modelo actualmente utilizado en la CNT).

Con estas premisas se realiza el cálculo a través de una tabla propietaria de Huawei, actual proveedor de la red de Core de la CNT, para el caso de 3.5 GHz, dicha tabla se muestra en la Figura 45:

| Legend | | | | | |
|--------|------------------|--|--|--|--|
| | Input Value | | | | |
| | Auto-Calculation | | | | |
| | Typical Value | | | | |

| | | | | | |
|--------------------|-------------------------------|-------------|--------|-------------|--------|
| Network | Scenario | Urban | | | |
| | FDD eNodeB Type | 4T4R | | | |
| | Bandwidth MHz(WTTx Target BW) | 40 | | | |
| CPE | Indoor/Outdoor | Indoor CPE | | Outdoor CPE | |
| | 1T2R/1T4R | 1T2R | 1T4R | 1T2R | 1T4R |
| | Cell Capacity Mbps | 79,20 | 133,60 | 110,88 | 187,04 |
| | Type Proportion | 100% | 0% | 0% | 0% |
| Resource Usage | Max Resource Using Proportion | 80% | | | |
| | WTTx proportion (Exclude MBB) | 50% | | | |
| Available Capacity | WTTx per Site Capacity Mbps | 95,04 | | | |
| Package-based | Speed-based or Volume-based | Speed-based | | | |

| | | | | |
|-----------------------------------|----------------------|------|----|----|
| Speed-based WTTx Speed | Users Speed Mbps | 20 | 10 | 4 |
| | User Proportion | 100% | 0% | 0% |
| Speed-based Speed Traffic Mode | Contention Ratio | 50% | | |
| | User Active Ratio | 80% | | |
| | Service Active Ratio | 15% | | |
| | Overbooking Ratio | 6% | | |

| | | | | |
|-------------------------------------|--|------|----|----|
| Volume-based WTTx Volume | Data volume per month per user GB | 100 | 60 | 35 |
| | User Proportion | 0% | 0% | 0% |
| Volume-based Volume Traffic Mode | Days per month | 30,4 | | |
| | Traffic Proportion of busy hour to whole day | 8% | | |
| | Down Link Proportion of busy hour | 90% | | |
| | DL Busy hour throughput per subscriber Mbps | 0,00 | | |

| | | |
|--------|-------------------------|----|
| Result | Allocation User Numbers | 80 |
|--------|-------------------------|----|

Figura 45 Cálculo de cantidad de usuarios en la banda de 3.5 GHz.

Fuente: Proveedor de la plataforma de Core de la CNT EP

Para el caso de la banda 24 GHz, al ser una banda milimétrica se asume que la CNT va a llegar a tener 100MHz de ancho de banda en la frecuencia de la red 5G tomando como referencia los casos de EEUU donde los operadores cuentan con estos anchos de banda, y que los nodos de 5G tendrán cuatro receptores y cuatro transmisores 4T4R (modelo actualmente utilizado en la CNT).

Con estas premisas se realiza el cálculo a través de una tabla propietaria de Huawei, actual proveedor de la red de Core de la CNT, para el caso de 24 GHz, dicha tabla se muestra en la Figura 46:

| Legend | | | | | |
|--------|------------------|--|--|--|--|
| | Input Value | | | | |
| | Auto-Calculation | | | | |
| | Typical Value | | | | |

| | | | | | |
|--------------------|-------------------------------|-------------|--------|-------------|--------|
| Network | Scenario | Urban | | | |
| | FDD eNodeB Type | 4T4R | | | |
| | Bandwidth MHz(WTTx Target BW) | 100 | | | |
| CPE | Indoor/Outdoor | Indoor CPE | | Outdoor CPE | |
| | 1T2R/1T4R | 1T2R | 1T4R | 1T2R | 1T4R |
| | Cell Capacity Mbps | 198,00 | 334,00 | 277,20 | 467,60 |
| | Type Proportion | 100% | 0% | 0% | 0% |
| Resource Usage | Max Resource Using Proportion | 80% | | | |
| | WTTx proportion (Exclude MBB) | 50% | | | |
| Available Capacity | WTTx per Site Capacity Mbps | 237,60 | | | |
| Package-based | Speed-based or Volume-based | Speed-based | | | |

| | | | | |
|-----------------------------------|----------------------|------|----|----|
| Speed-based WTTx Speed | Users Speed Mbps | 20 | 10 | 4 |
| | User Proportion | 100% | 0% | 0% |
| Speed-based Speed Traffic Mode | Contention Ratio | 50% | | |
| | User Active Ratio | 80% | | |
| | Service Active Ratio | 15% | | |
| | Overbooking Ratio | 6% | | |

| | | | | |
|-------------------------------------|--|------|----|----|
| Volume-based WTTx Volume | Data volume per month per user GB | 100 | 60 | 35 |
| | User Proportion | 0% | 0% | 0% |
| Volume-based Volume Traffic Mode | Days per month | 30,4 | | |
| | Traffic Proportion of busy hour to whole day | 8% | | |
| | Down Link Proportion of busy hour | 90% | | |
| | DL Busy hour throughput per subscriber Mbps | 0,00 | | |

| | | |
|--------|-------------------------|-----|
| Result | Allocation User Numbers | 198 |
|--------|-------------------------|-----|

Figura 46 Cálculo de cantidad de usuarios en la banda de 24 GHz.

Fuente: Proveedor de la plataforma de Core de la CNT EP

Con estos datos se puede determinar que con una banda milimétrica se puede llegar a una mayor cantidad de clientes con velocidades de 20Mbps, sin embargo la cobertura no satisface esta demanda.

El ancho de banda que se asigne al espectro es proporcional a la cantidad de usuarios que pueden llegar a tener velocidades de FWA, de acuerdo a los cálculos presentados anteriormente, en ese sentido las bandas de 3.5 GHz y de 24 GHz, serían las más óptimas para brindar este servicio.

En vista de esto la banda que mejor se adaptaría a la necesidad de CNT es la de 3.5 GHz ya que cubre una gran porción de la parroquia “La Esperanza” y a una cantidad de 80 clientes con velocidades de 20 Mbps simultáneos, con un ancho de banda de espectro

de 40MHz. Si la CNT llegará a tener un ancho de banda de 60MHz la cantidad de usuarios sería de 119 usuarios simultáneos, como se muestra en la Figura 47.

| Legend | | | | | |
|--------|------------------|--|--|--|--|
| | Input Value | | | | |
| | Auto-Calculation | | | | |
| | Typical Value | | | | |

| | | | | | |
|--------------------|-------------------------------|-------------|--------|-------------|--------|
| Network | Scenario | Urban | | | |
| | FDD eNodeB Type | 4T4R | | | |
| | Bandwidth MHz(WTTx Target BW) | 60 | | | |
| CPE | Indoor/Outdoor | Indoor CPE | | Outdoor CPE | |
| | 1T2R/1T4R | 1T2R | 1T4R | 1T2R | 1T4R |
| | Cell Capacity Mbps | 118,80 | 200,40 | 166,32 | 280,56 |
| | Type Proportion | 100% | 0% | 0% | 0% |
| Resource Usage | Max Resource Using Proportion | 80% | | | |
| | WTTx proportion (Exclude MBB) | 50% | | | |
| Available Capacity | WTTx per Site Capacity Mbps | 142,56 | | | |
| Package-based | Speed-based or Volume-based | Speed-based | | | |

| | | | | |
|--------------------------------|----------------------|------|----|----|
| Speed-based WTTx Speed | Users Speed Mbps | 20 | 10 | 4 |
| | User Proportion | 100% | 0% | 0% |
| Speed-based Speed Traffic Mode | Contention Ratio | 50% | | |
| | User Active Ratio | 80% | | |
| | Service Active Ratio | 15% | | |
| | Overbooking Ratio | 6% | | |

| | | | | |
|----------------------------------|--|------|----|----|
| Volume-based WTTx Volume | Data volume per month per user GB | 100 | 60 | 35 |
| | User Proportion | 0% | 0% | 0% |
| Volume-based Volume Traffic Mode | Days per month | 30,4 | | |
| | Traffic Proportion of busy hour to whole day | 8% | | |
| | Down Link Proportion of busy hour | 90% | | |
| | DL Busy hour throughput per subscriber Mbps | 0,00 | | |

| | | |
|--------|-------------------------|-----|
| Result | Allocation User Numbers | 119 |
|--------|-------------------------|-----|

Figura 47 Cálculo de cantidad de usuarios en la banda de 3.5 GHz. con 50 MHz de banda

Fuente: Proveedor de la plataforma de Core de la CNT EP

5.2 Análisis de clientes en la parroquia “La Esperanza”

En la parroquia “La Esperanza”, de acuerdo a los cálculos de población realizados en el capítulo III, con información del INEC se obtuvo que para 2020 exista alrededor de 8.386 personas. Si se asume que cada familia tiene un promedio de 4 personas compartiendo una misma vivienda se tiene aproximadamente que ha 2020 existirá alrededor de 2.209 viviendas.

Este sería la cantidad de potenciales clientes que la CNT podría captar dentro de la parroquia “La Esperanza” para la venta del servicio FWA.

La CNT actualmente tiene una participación en el mercado de 42.73% de clientes de internet (ARCOTEL, 2019). Si trasladamos este porcentaje a la parroquia “La Esperanza”, tendríamos aproximadamente 944 clientes (2.209 clientes * 42.73% de participación) que posiblemente contratarían el servicio de Internet con la CNT.

Con respecto a la red de acceso, la cantidad de usuarios totales por estación base estará determinada por la capacidad licenciada que tenga dicha estación base; los proveedores de CNT ofrecen hasta 4800 usuarios por estación base dependiendo de la tarjeta de procesamiento (HUAWEI, 2018).

Teóricamente la cantidad de usuarios simultáneos se calcula de la siguiente forma:

$$Usuarios\ simultáneos = usuarios\ totales \times porcentaje\ de\ simultaneidad$$

En la CNT se maneja como parámetro de porcentaje de simultaneidad del 30% de los usuarios totales. Es decir que la cantidad de usuarios simultáneos que soportaría una estación base tipo, sería igual a:

$$Usuarios\ simultáneos = 4800 \times 20\% = 960$$

En base a esto una estación base 5G licenciada para 4800 usuarios podría soportar alrededor de 960 usuarios simultáneos.

En el caso de la parroquia “La Esperanza” se obtuvo que la CNT podría llegar a tener 944 clientes, si calculamos la cantidad de usuarios simultáneos con la fórmula anterior tendríamos una cantidad de 189 clientes simultáneos.

De los cálculos que realizamos en el punto anterior con la banda de 3.5 GHz con una asignación de 40 MHz, tendríamos alrededor de 80 clientes simultáneos con

velocidades de 20 Mbps, mientras más clientes simultáneos se tengan dentro de la estación base la velocidad va a ir disminuyendo para estos clientes.

Si se llegará a tener una asignación de 60 MHz se tendría una cantidad de 119 clientes simultáneos, y en el caso de 100MHz sería de 198 clientes simultáneos.

En este sentido se tienen dos opciones, o pedir la asignación de 3.5 con una banda de 100MHz o realizar la instalación de dos estaciones base. Sin embargo esto dependerá de la demanda real proyectada que se tenga en la parroquia, ya que estos cálculos son teóricos.

5.3 Propuesta de distribución y asignación del espectro radioeléctrico

El costo de implementación de una estación base es de alrededor de USD 200 K, es decir la CNT requeriría una inversión de USD 400 K por dos estaciones en la parroquia “La Esperanza”.

En el caso de la asignación del espectro, al ser una empresa pública no tiene un costo sin embargo si se realiza un pago mensual por cada estación que se pone en servicio. Por ende sería una inversión doble realizar la instalación de dos estaciones en la parroquia “La Esperanza”.

El plan comercial que ofrece la CNT, para velocidades de 20 Mbps tiene un costo de USD 33.49 incluido impuestos (CNT, CNT telefonía fija y móvil, internet, 2020). Si se tiene una demanda aproximada de 944 clientes, se tendría aproximadamente un ingreso mensual de USD 31.614, es decir que en un año se tendría un ingreso de USD 379.374.

En vista de esto, la recomendación a la CNT sería que en la solicitud de asignación del espectro en 3.5 GHz se solicite la asignación de 100 MHz continuos para que se pueda explotar el servicio de FWA no solo en la parroquia “La Esperanza” sino en toda

la zona de cobertura de la red 5G. Y con una menor inversión de infraestructura para que los ingresos puedan ir devengando los diferentes costos de la implementación de estas estaciones.

En base a lo antes descrito, es pertinente describir de manera general el proceso para asignación del espectro radioeléctrico para FWA sobre 5G de la CNT EP.

5.4 Proceso de solicitud para asignación de espectro radioeléctrico y uso frecuencias para la empresa pública

En el capítulo 3, en el literal 3.1.3 se hizo referencia al Reglamento de Títulos Habilitantes de Telecomunicaciones y Frecuencias, mediante el cual se determina los artículos 14, 47 y 48; que hacen referencia a un derecho preferente para la asignación de frecuencias y adjudicación directa, bajo el esquema de una autorización para otorgar el título habilitante, como el caso para la CNT EP.

Con este antecedente, se determina el siguiente procedimiento para la asignación de frecuencias, lo cual está amparado en los artículos 49, 50, 51, 52, 53, 54 y 58 Reglamento de Títulos Habilitantes de Telecomunicaciones y Frecuencias, esto es:

1. Solicitud dirigida a la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL suscrita por el representante legal, en la que indique adjunte la siguiente información:
 - a. Detalle del sistema del servicio de telecomunicaciones, a los que se vinculen las frecuencias requeridas, detallando los nombres y apellidos, número de identificación; dirección de contacto y teléfono, correo electrónico; razón social, objeto, datos de constitución de la persona jurídica y plazo de duración; número del Registro Único de Contribuyentes (RUC).
 - b. Decreto Ejecutivo o la resolución de creación de la Empresa Pública.

- c. Datos de identificación del representante legal, indicando los datos de constitución, objeto, y socios de la empresa pública.
 - d. Copia del documento de designación del representante legal debidamente inscrito ante la autoridad correspondiente.
- 2. Adjuntar la información técnica:
 - a) Proyecto técnico
 - b) Certificado de no afectar a los sistemas de radionavegación aeronáutica emitido por la autoridad competente, de acuerdo a los lugares publicados en la página web institucional de la ARCOTEL.
- 3. Revisión de la documentación completa por parte de la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL, dentro del término de cinco (5) días de presentada la solicitud. Si la documentación presentada no estuviera completa, se concederá el término de diez (10) días para que la peticionaria la complete, en caso de que en dicho término no exista respuesta o no se complete la información solicitada, se archivará la solicitud; decisión que será notificada al solicitante en el término de hasta quince (15) días.
- 4. Publicación en la página web institucional de la ARCOTEL en un plazo de hasta tres (3) días, a fin de que las personas interesadas puedan formular por escrito y con el debido sustento, sus observaciones, en un término de hasta tres (3) días.
- 5. Elaboración de informes técnicos, jurídicos y económicos por parte de la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL, en un término de hasta diez (10) días. En caso de no procedencia, la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL notificará al solicitante, en un término de hasta diez (10) días.

6. Emisión de la resolución para expedir el respectivo título habilitante de uso o explotación de frecuencias, que se agregará como anexo al título habilitante de la CNT EP, dentro del término de hasta tres (3) días. Dicho anexo deberá contener como mínimo lo siguiente:
 - a) Resolución de autorización
 - b) Período de vigencia de la autorización
 - c) Objeto de la autorización
 - d) Características técnicas
 - e) Obligatoriedad de iniciar operaciones en el plazo máximo de 1 año
 - f) Modificaciones
 - g) Adecuaciones técnicas, y
 - h) Cualquier otro que la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL establezca.
7. Notificación y aceptación de la resolución al solicitante, a fin de que dentro del término de hasta cuatro (4) días, se formalice el título habilitante correspondiente por medio de la aceptación o sujeción al mismo, hecho lo cual se procederá a la inscripción del título habilitante en el Registro Público de Telecomunicaciones.

Si vencido este término el solicitante no cumple sus obligaciones previas o no suscribe el documento de sujeción, la resolución quedará sin efecto de manera automática, debiendo precederse con el archivo del trámite y notificación al solicitante en el término de hasta quince (15) días.
8. Realizar el pago de tarifas mensuales por uso del espectro radioeléctrico de las frecuencias solicitadas.

En todos los casos, cuando correspondan a títulos habilitantes para empresas públicas de telecomunicaciones, no tienen la obligación de pago de derechos por otorgamiento

de títulos habilitantes y entrega de garantía de fiel cumplimiento, pero si tienen la obligación del pago de tarifas mensuales por uso del espectro radioeléctrico, así como también entrega de pólizas de responsabilidad civil para la prestación de servicios.

(ARCOTEL, 2016)

6. CAPITULO VI

Las conclusiones y recomendaciones del presente estudio, son el resultado de la investigación teórica y simulaciones realizadas, en relación al espectro radioeléctrico para el servicio de acceso inalámbrico fijo (FWA) de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones del Ecuador, proyectado en redes de quinta generación (5G) en la parroquia la Esperanza.

6.1 CONCLUSIONES

- El presente estudio ha permitido alcanzar los objetivos planteados de manera exitosa para presentación de la propuesta de asignación del espectro radioeléctrico, la cual se fundamenta en la base teórica en relación a las redes de acceso inalámbrica, espectro radioeléctrico para servicios de Acceso Inalámbrico Fijo (FWA), y descripción de las redes de quinta generación (5G), su arquitectura, métodos de acceso, entre otros.
- El diagnóstico de la distribución del espectro radioeléctrico en el Ecuador destaca que existe disponibilidad de 128,5MHz para servicios de telecomunicaciones, para la banda de 3,4-3,6 GHz, ya que actualmente se encuentran asignados 50 MHz a CNT a nivel nacional y 21,5 MHz a ETAPA con cobertura en Cuenca.
- En base a la recomendación ITU-RM 2078 para 2015 de la ITU, considerada como el regulador de los operadores nivel mundial, únicamente se estará cumpliendo el 22,3% (290 MHz) de la cantidad de espectro asignada en el Ecuador.
- El referente de despliegue de red en América es Estados Unidos, el cual ha implementado sus servicios FWA sobre bandas milimétricas, que si bien

aseguran velocidades de hasta 700mbps, su mayor inconveniente es la penetración indoor.

- La investigación efectuada ha determinado que la cantidad de usuarios simultáneos es proporcional al ancho de banda espectral de la banda requerida; es decir, que entre mayor recurso se disponga, se podrá atender a mayor cantidad de usuarios simultáneos.
- Con las predicciones de cobertura expuestas, así como también con la propuesta de asignación del espectro radioeléctrico para el servicio de acceso inalámbrico fijo (FWA) sobre 5G para la CNT, se ha determinado que la banda de 3.5 GHz se adapta a la necesidad de la CNT EP, ya que cubre una gran porción de la parroquia La Esperanza y a una cantidad de 80 clientes con velocidades de 20 Mbps simultáneos, con un ancho de banda de espectro de 40MHz. Si la CNT obtienen 60MHz de ancho de banda, se tendrá 119 usuarios simultáneos, y en el caso de 100MHz, se tendrán 198 usuarios simultáneos.
- En el caso de bandas bajas como la de 700MHz la penetración indoor es mayor en relación a las bandas milimétricas como la de 24GHz, las cuales deben tener en cuenta los obstáculos y línea de vista para cubrir la zona objetivo.
- Detallar la asignación del espectro radioeléctrico concesionado a la CNT EP.
- Determinar las necesidades espectrales para el servicio de acceso inalámbrico fijo (FWA) bajo la tecnología 5G en Ecuador.
- Dentro de una red 5G, los recursos se dividen para la cantidad de usuarios que se conectan en una estación base, por tanto para asegurar las velocidades para el servicio de FWA, la cantidad de usuarios simultáneos es un parámetro determinante.

- El documento relevante para la asignación del espectro radio eléctrico para la empresa pública, es el informe técnico que respalde y argumente la necesidad del ancho de banda, ya que en caso de tener inconsistencias u observaciones, se producirán retrasos o negación de la solicitud de la CNT EP, para asignación del espectro bajo la modalidad de autorización.

6.2 RECOMENDACIONES

- La solicitud de autorización para asignación de espectro radioeléctrico por parte de la CNT EP a la ARCOTEL, corresponde a la banda de 3.5 GHz con un ancho de banda de 100 MHz continuos para que se pueda explotar el servicio de FWA, no solo en la parroquia La Esperanza, sino en toda la zona de cobertura de la red 5G, lo cual marca de forma determinante una menor inversión de infraestructura para que los ingresos puedan ir devengando los diferentes costos de la implementación de estas estaciones.
- Para el despliegue de FWA sobre 5G por parte de la CNT, se recomienda que se haga un levantamiento de la demanda comercial efectiva de usuarios en la zona de influencia, a fin de plantear una ingeniería con los requerimientos reales del mercado a satisfacer.
- En base al estudio efectuado, para que la CNT EP garantice un servicio de FWA sobre la red 5G, se recomienda que la ingeniería de la red, considere velocidades en un rango entre 10 y 20 Mbps.
- En base a los resultados de la propuesta de asignación de espectro radioeléctrico, se recomienda que la CNT EP incluya en la solicitud a la ARCOTEL todos los requisitos y el proyecto técnico, con los sustentos que respalden la asignación de un ancho de banda de 100MHz en la banda de 3.5GHz.

Glosario de Términos y Acrónimos

- 3GPP: Proyecto Asociado a la Tercera Generación
- 4G: sigla utilizada para referirse a la cuarta generación de tecnologías de telefonía móvil
- 4G EPC: Última evolución de la arquitectura de red central 3GPP
- 5G: siglas utilizadas para referirse a la quinta generación de tecnologías de telefonía móvil
- 5G NR: 5G New Radio (5G Nuevo Radio) estándar global para una interfaz aérea inalámbrica 5G
- ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line (Línea de abonado digital asimétrica)
- AMPS: Advanced Mobile Phone System (Sistema Móvil Avanzado)
- ARCOTEL: Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones
- ATM: Asynchronous Transfer Mode (Modo de Transferencia Asincrónica)
- ATOLL: Advanced Trainer On Localizer, software de simulación
- CDMA: Code Division Multiple Access (Acceso Multiple por División de Tiempo)
- CNT EP: Corporación Nacional de Telecomunicaciones Empresa Pública
- CONATEL: Comisión Nacional de Telecomunicaciones.
- CPE: Customer Premises Equipment (Equipo Local del Cliente)
- CUG: Closed User Group (Grupos Cerrados de Usuarios)
- eNB: evolved NodeBs (NodoB evolucionado), son los encargados de controlar el portador de radio, control de admisión por radio, control de movilidad de conexión y asignación de recursos a la estación de usuarios.

- eMBB: enhanced Mobile Broadband (Banda ancha móvil mejorada), son aquellas en las que se agrupan aquellas aplicaciones y modelos de negocios cuyos requerimientos son principalmente tasas de transferencia y mejor cobertura de servicio
- EPC: Evolved Packet Core (Núcleo de Paquete Evolucionado)
- ETAPA: Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y saneamiento de Cuenca
- FTP: File Transfer Protocol (Protocolo de Transferencia de Ficheros)
- FWA: Fixed Wireless Access (Acceso Inalámbrico Fijo)
- gNB: Next Generation Node B (Nodo B de próxima)
- GPON: Gigabit-capable Passive Optical Network (Red Óptica Pasiva con Capacidad Gigabit)
- iDEN: Integrated Digital Enhanced Network (Red Mejorada Digital Integrada)
- IMSI: International Mobile Subscriber Identity (Identidad Internacional del Abonado Móvil)
- ISDN: Integrated Services Digital Network (Red Digital de Servicios Integrados)
- IDU: Indoor Unit (Unidad Interior)
- JDC: Celular Digital Japonés (Celular Digital Japonés)
- LMDS: Local Multipoint Distribution (Sistema de Distribución Local Multipunto)
- LTE: Long Term Evolution (Evolución de largo plazo)
- MiFi: Mobile WiFi (WiFi Móvil)
- MIMO: Multiple Input Multiple Output (Entrada Múltiple Salida Múltiple)

- MMDS: Multichannel Multipoint Distribution System (Sistema Multicanal de Distribución por Microondas)
- MU: Multi User (Multiple Usuario)
- NTT: Nippon Telegraph and Telephone Company (Compañía de Teléfonos y Telégrafos de Japón)
- ODU: Outdoor Unit (Unidad Exterior)
- PSTN: Public Switched Telephone Network (Red Telefónica Conmutada Pública)
- QAM: Quadrature Amplitude Modulation (Modulación por Amplitud en Cuadratura)
- RSCP: Received Signal Code Power (Potencia de Código de Señal Recibida)
- RSRP: Reference Signal Received Power (Potencia Recibida de las Señales de Referencia)
- SENATEL: Secretaria Nacional de Telecomunicaciones
- STP: Shielded Twisted Pair (Par Trenzado Blindado)
- TACS: Total Access Communications Systems (Sistema de Comunicación de Acceso Total)
- TDMA: Time Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Tiempo)
- IoT: Internet Of Things (Internet de las cosas)
- Tm3: Transmission Mode 3 (Modo de Transmisión 3)
- UE: User Equipment (Equipo de Usuario)
- UIT: International Telecommunications Union (Unión Internacional de Telecomunicaciones)

- UMTS: Universal Mobile Telecommunications System (Sistema Universal de Telecomunicaciones móviles)
- USSD: Unstructured Supplementary Service Data (Servicio Suplementario de Datos no Estructurados)
- UTP: Unshielded Twisted Pair (Par Trenzado no Blindado)
- WLAN: Wireless Local Area (Área Local Inalámbrica)
- WLL: Wireless Local Loop (Lazo Local Inalámbrico)
- WMAN: Wireless Wide Area Network (Redes Inalámbricas de Área Metropolitana)
- WPAN: Wireless Personal Area Network (Redes Inalámbricas de Área Personal)
- WWAN: Wireless Wide Area Network (Redes Inalámbricas de Área Extensa)

REFERENCIAS

- Redes Cableadas*. (23 de Mayo de 2012). Obtenido de <http://marbintrigosinfoam.blogspot.com/>
- mercadolibre*. (2018). Obtenido de <https://www.mercadolibre.com.ec/>
- 3GPP. (14 de Junio de 2014). *3GPP ORG*. Obtenido de https://www.3gpp.org/news-events/1579-ran_rel12_and_beyond
- 3GPP. (01 de 10 de 2019). *3GPP TR 21.915 V15.0.0* . Obtenido de <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3389>
- 5G Américas. (Agosto de 2019). *Análisis de las recomendaciones de espectro de la UIT en América Latina*. Obtenido de <https://brechacero.com/wp-content/uploads/2019/08/ES-Analisis-de-las-Recomendaciones-de-Espectro-de-la-UIT-en-America-Latina-2019-vf.pdf>
- Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. (Septiembre de 2017). *Plan Nacional de Frecuencias versión 5*. Quito: Dirección Técnica de Regulación del Espectro Radioeléctrico.
- Aguado, J. M., Feijóo, C., & Martinez, I. J. (2014). *La comunicación Móvil*. Gedisa.
- Aldas, J. (2015). *Sistema de Acceso Inalambrico Fijo*. Paraguay: Vailla Editores.
- Andreur, J. (2011). *Redes analambricas (Servicios en red)*. Madrid: Editex.
- ARCOTEL. (2016). *Reglamento para otorgar títulos habilitantes para servicios del régimen general de telecomunicaciones y frecuencias del espectro radioeléctrico*. Quito: Registro Oficial Suplemento 756 de 17-may.-2016.

- ARCOTEL. (Diciembre de 2019). *Servicio de acceso a internet (SAI)*. Obtenido de <http://www.arcotel.gob.ec/servicio-de-acceso-a-internet-sai2/>
- Arduino.cl. (2018). Obtenido de <http://arduino.cl/arduino-nano/>
- Asamblea Nacional de la República del Ecuador. (2015). *Ley Orgánica de Telecomunicaciones*. Quito: Registro Oficial Suplemento 439 de 18-feb.-2015.
- Asamblea Nacional de la República del Ecuador. (18 de Octubre de 2019). *Asamblea Nacional de la República del Ecuador*. Obtenido de https://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/documents/old/constitution_de_bolsillo.pdf
- AT&T. (Febrero de 2020). *5G Evolution*. Obtenido de <https://www.att.com/es-us/5g/consumer/5g-evolution>
- AT&T. (2 de Febrero de 2020). *AT&T*. Obtenido de <https://www.att.com/buy/phones/browse/5g-evolution>
- AT&T. (Febrero de 2020). *Construimos 5G en la mejor red del país*. Obtenido de <https://www.att.com/es-us/5g/consumer/>
- AT&T. (Febrero de 2020). *Phones*. Obtenido de <https://www.att.com/buy/phones/browse/5g-evolution>
- Atanes, B. B., & Sainz, J. L. (2016). *Redes de comunicación*. La coruña: Xunta.
- Blázquez, J. P. (2015). *Introducción a los Sistemas de Comunicación Ilámbricos*. Catalán: Universitat Oberta Catalunya.
- Cárdenas, J. L. (2018). *Sistemas Inalámbricos Fijos*. Cuba: Facultad de Ing. Eléctrica. UCLV.

Cerezo Téllez, R. (2020). *Despliegue y rendimiento de redes 5G*. Barcelona: Universitat Oberta de Catalunya (UOC).

Chen H. H., & Guizani M. (2015). *Next Generation Wireless Systems and Networks*. USA: John Wiley & Sons,.

CNT. (2017 - 2021). *Corporativo CNT EP*. Obtenido de <https://corporativo.cnt.gob.ec/estrategia-empresarial/>

CNT. (01 de Marzo de 2020). *CNT telefonía fija y móvil, internet*. Obtenido de <https://www.cnt.gob.ec/>

Comisión de Estudio del UIT-R. (junio de 2010). *La UIT y las recomendaciones*. Obtenido de <http://www.itu.int/net/about/vision.aspx>

CONATEL. (19 de Mayo de 2011). *Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones*. Obtenido de www.arctel.gob.ec

Covarrubias, N. (Febrero de 2020). *SYSKOM epcom*. Recuperado el 25 de Febrero de 2020, de <http://soporte.syscom.mx/es/articles/1517142-mikrotik-distancias-maximas-recomendadas-para-enlaces-punto-a-punto>

Cuji Rodríguez, J. E., & Novoa Segovia, B. S. (2019). *Sistema de Telecontrol y Orientación Remota de Antenas Direccionales Punto a Punto*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.

Diario El Telégrafo. (28 de Mayo de 2016). *El Telégrafo*. Obtenido de www.eltelegrafo.com.ec

DIGITAL TRENDS. (20 de Diciembre de 2019). *El despliegue de la red 5G de Verizon: todo lo que necesitas saber*. Obtenido de <https://es.digitaltrends.com/celular/despliegue-de-la-red-5g-de-verizon/>

El Telegrafo. (02 de Marzo de 2017). Las lenguas en Ecuador, entre la vitalidad y la vulnerabilidad. 5.

El Universo. (22 de Noviembre de 2019). *¿Qué obstáculos enfrenta el despliegue de la red 5G?* Obtenido de <https://www.eluniverso.com/larevista/2019/11/22/nota/7615922/que-obstaculos-enfrenta-despliegue-red-5g>

Enciclopedia del Ecuador. (10 de Febrero de 2020). *Enciclopedia del Ecuador*. Obtenido de www.encyclopediadelecuador.com

Flickenger, R. (2008). *Redes inalámbricas en los países en desarrollo: una guía práctica para planificar y construir infraestructuras de telecomunicaciones de bajo costo*. Gran Bretaña: Hacker Friendly LLC.

García Rueda, F. J. (2016). *Modelos de Propagación para Comunicaciones Móviles 4G y 5G*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación.

Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial La Esperanza. (28 de Febrero de 2020). *DAD La Esperanza* . Obtenido de <https://gplaesperanza.gob.ec/>

GOBIERNO DEL ECUADOR. (18 de Febrero de 2015). *Registro Oficial No. 439*. Obtenido de <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/Ley-Org%C3%A1nica-de-Telecomunicaciones.pdf>

Gonzalez, M. (05 de Noviembre de 2012). *Redes Telematicas*. Obtenido de <http://redestelematicas.com/la-ultima-milla/>

GSMA. (Julio de 2019). *Espectro 5G, Posición de política pública de la GSMA*.

Obtenido de <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2019/10/5G-Spectrum-Positions-SPA.pdf>

HUAWEI. (30 de 03 de 2018). *eLTE5.0 DBS3900 Product Overview (B-TrunC)* pag-

36. Obtenido de

<https://e.huawei.com/es/material/wireless/mccs/5a8d167367c6400899e476a22dfb90c4>

Huidobro Moya, J. M., & Huidobro, J. M. (2006). *Redes y servicios de telecomunicaciones*. Paraninfo.

IIIA-CSIC. (2018). *Unidad de Desarrollo Tecnológico en Inteligencia Artificial*.

Obtenido de Metodología de desarrollo de software. El Modelo en V o de Cuatro Niveles.: <http://www.iiia.csic.es/udt/es/blog/jrodriguez/2008/metodologia-desarrollo-sotware-modelo-en-v-o-cuatro-niveles>

INEC. (2010). *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. Recuperado el 10 de Febrero de 2020, de www.ecuadorencifras.gob.ec/

Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2018). *Inventario de Bandas de Frecuencias Clasificadas como Espectro Libre*. Mexico: Instituto Federal de Telecomunicaciones.

ISO, IEC, & IEEE. (2011). *International Standard ISO/IEC/IEEE 29148*.

ITU Academy empowering minds. (S/F). *DocPlayer*. Recuperado el 16 de Enero de 2020, de <https://docplayer.es/7427354-Capacitacion-en-conformidad-y-ensayos-de-interoperabilidad-procedimientos-de-homologacion-y-pruebas-de-terminales-moviles.html>

- Lodolo, M. (2018). *Tecnología de acceso inalámbrico fijo FWA*. Madrid - España: TelDat.
- Lombardi, J. (08 de Mayo de 2018). *SearchDataCenter en Español*. Recuperado el 29 de Enero de 2020, de <https://searchdatacenter.techtarget.com/es/opinion/La-batalla-por-el-acceso-de-alta-velocidad-FTTH-vs-o-FWA>
- Lopes, M., & Oliver, E. (29 de Abril de 2019). *Digital Trends, Ciudades con acceso a la red 5G de AT&T*. Obtenido de <https://es.digitaltrends.com/celular/despliegue-red-5g-de-att-ciudades/>
- Lopez, J. R. (2005). *Diseño de una Red para Acceso Fijo Inalámbrico LMDS para modernizar los servicios de Telecomunicaciones de la Universidad Técnica de Ambato*. Ambato: Universidad Tecnica de Ambato.
- Mendoza Díaz, D. (2003). *Redes Inalámbricas Fijas de Banda Ancha Para Multiservicios*. Lima: Tegnologia Offset E.I.R.L.
- MINEDUCACION. (S/F). *Currículos Exploratorios en Tic*. Recuperado el 2 de Febrero de 2019, de <http://contenidos.sucerman.com/nivel3/redes/unidad4/leccion2.html>
- Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. (10 de Octubre de 2019). *MINTEL*. Obtenido de <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/mintel-presento-la-nueva-politica-de-espectro-en-el-marco-de-un-ecuador-digital/>
- MINTEL. (18 de Octubre de 2019). *Ecuador Digital*. Obtenido de <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2019/05/PPT-Estrategia-Ecuador-Digital.pdf>

- Moreno, C. E. (2017). *Estudio de la Tecnología LTE en la Banda de 700MHz como Alternativa para brindar servicio de Internet Fijo Inalámbrico*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Moreta, B. (7 de Febrero de 2012). *El Norte* . Obtenido de <http://www.elnorte.ec/otavalo/cronica-urbana/16521-preocupadesaparici%C3%B3n-del-ancestral-kichwa.html>
- Moseley, C., & Nicolas, A. (2010). Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. En C. Moseley, *Atlas de las Lenguas del Mundo en Peligro* (pág. 219). España : Job's Graphic's, Valencia.
- Muñoz Rodriguez, D., & Lara Rodriguez, D. (2002). *Sistemas Inalambricos de Comunicación Personal* . Mexico: Marcombo.
- Networks-QandA. (2019). Las redes 5G características y usos. *Revista Electrónica de Estudios Telemáticos*, 9.
- Observatorio Nacional 5G, O. (26 de Septiembre de 2019). *Las operadoras de Corea del Sur triplican con 5G la velocidad media de descarga respecto a 4G*. Obtenido de <https://on5g.es/operadoras-corea-sur-triplican-5g-velocidad-4g/>
- ON5G, O. N. (24 de Septiembre de 2019). *Aumenta la velocidad de descarga con redes 5G en el último trimestre, especialmente en las frecuencias medias*. Obtenido de <https://on5g.es/35-operadores-20-paises-despliegue-comercial-5g/>
- Peña, M., & Mendiola, J. (2 de Diciembre de 2019). Obtenido de <https://es.digitaltrends.com/celular/red-tmobile-5g-despliegue/>

- Peña, M., & Mendiola, J. (2 de Diciembre de 2019). *DIGITAL TRENDS, Todos los detalles de la red ultrarrápida 5G de T-Mobile*. Obtenido de <https://es.digitaltrends.com/celular/red-tmobile-5g-despliegue/>
- Pérez Mantilla, S. (2019). *El sistema de comunicaciones móviles de proxima generación 5G y su caso de uso IoT*. Barcelona: Universitat Oberta de Catalunya.
- Pozo Félix, S. E. (2012). *Estudiuo de Factibilidad de operación de Sistemas Móviles que usan Técnicas de Espectro Ensanchado en Bandas ICM e INI*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Público. (10 de Junio de 2019). *Telefonía móvil: Arranca el despliegue comercial de 5G en España*. Obtenido de <https://www.publico.es/economia/telefonía-móvil-arranca-despliegue-comercial-5g-espana-mi-me-importa.html>
- REDACCIONES GRANAS. (10 de Octubre de 2019). *expreso.ec*. Obtenido de <https://www.expreso.ec/actualidad/ruta-5g-trazarse-ecuador-comienzo-LN2825863>
- Rodríguez, C., & Arias, M. (13 de Noviembre de 2013). Simulación y Análisis de una Red LTE en Ambientes Urbanos de la ciudad de Managua. Universidad Nacional de Ingeniería (Nicaragua).
- Ruiz, C. E. (2016). *Guia para el Diseño por Integración de la Red de Acceso Inalámbrico*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Salazar, J. (2017). *Redes analambricas*. Czech Republic : České vysoké učení technické v Praze.

Sean, K. (8 de Diciembre de 2016). *RCRWirelessNews*. Recuperado el 5 de Noviembre de 2019, de <https://www.rcrwireless.com/20161208/carriers/fixed-wireless-access-5g-tag17>

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, Senplades. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida*. Obtenido de http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf

SENATEL. (2011). *Condiciones Generales para la prestación de servicios de Telecomunicaciones a favor de la CNT EP*. Quito: SENATEL.

Skidmore, G. J. (2018). Using Modeling and Simulation to Assess Challenges. *Gregory J. Skidmore*, REMCOM INC. | 315 South Allen Street, Suite 416 | State College, PA 16801 USA.

Staff . (08 de Noviembre de 2019). *T y N Magazine*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2019, de <https://www.tynmagazine.com/cuales-son-las-bandas-mas-adecuadas-para-el-5g/>

T-Mobile. (7 de Marzo de 2019). *News*. Obtenido de New T-Mobile: Creating a True Alternative to Fixed Broadband: <https://www.t-mobile.com/news/new-t-mobile-fixed-broadband-alternative>

T-Mobile. (Febrero de 2020). *5G nacional que funciona*. Obtenido de <https://es.t-mobile.com/>

- Tomás, J. P. (6 de Mayo de 2019). *RCR Wireless News*. Obtenido de <https://www.rcrwireless.com/20190506/5g/spain-gives-green-light-vodafone-telefonica-carry-out-5g-trials>
- Tuset, P. (13 de Junio de 2019). *5G, una carrera de fondo*. Obtenido de <https://www.elperiodico.com/es/opinion/20190613/articulo-despliegue-tecnologia-5g-pere-tuset-7503924>
- UNICEF. (2010). *Atlas Sociololinguistigo de pueblos indigenas en america latina* . Obtenido de https://www.unicef.org/honduras/tomo_1_atlas.pdf
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2001). *Acceso Inalambrico Fijo* . Ginebra : UIT.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2004). *ITU*. Recuperado el Diciembre de 2019, de <https://www.itu.int/rec/R-REC-F.1401/es>
- Universidad de Valencia. (S/F). *viu*. Recuperado el Diciembre de 2019, de <https://www.universidadviu.com/evolucion-la-red-comunicacion-movil-del-1g-al-5g/>
- Verizon. (Febrero de 2020). *5G Home Internet*. Obtenido de <https://es.verizonwireless.com/5g/home/>
- Verizon. (2 de Febrero de 2020). *Verizon*. Obtenido de <https://es.verizonwireless.com/internet-devices/>
- Verizon. (S/F). *Verizon*. Recuperado el 31 de Enero de 2020, de <https://www.verizonwireless.com/5g/home/>
- Villagómez, C. (9 de Enero de 2018). *CCM*. Recuperado el 16 de Febrero de 2020, de <https://es.ccm.net/contents/689-transmision-de-datos-multiplexacion>

Vodafone. (10 de Junio de 2019). *Vodafone España lanza la primera red 5g comercial el 15 de junio en 15 ciudades.* Obtenido de http://www.saladeprensa.vodafone.es/c/notas-prensa/np_5g_comercial/

Zapata, B. (8 de Septiembre de 2019). *El Universo: Ecuador da los primeros pasos en el largo camino hacia la tecnología 5G.* Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/2019/09/08/nota/7507786/primeros-pasos-largo-camino-hacia-5g>

ANEXOS

Anexo A: Reporte de Initial Tunning de Pruebas FWA en 5G de la CNT en Cuenca

El presente reporte de Initial Tunning corresponde a los resultados de las pruebas de FWA en 5G realizados con el proveedor Ericsson, de los tres sitios instalados por la CNT EP en la ciudad de Cuenca, denominados AZU CUENCA CNTL3, AZU BELLAVISTA AZUAYL3 y AZU RAMIREZ DAVALOSL3.

En las pruebas se ha probado satisfactoriamente llamadas de datos tanto Downlink (DL) como en Uplink (UL); así como también, la cobertura ha sido definida de acuerdo al principal objetivo que es cubrir los usuarios Wimax.

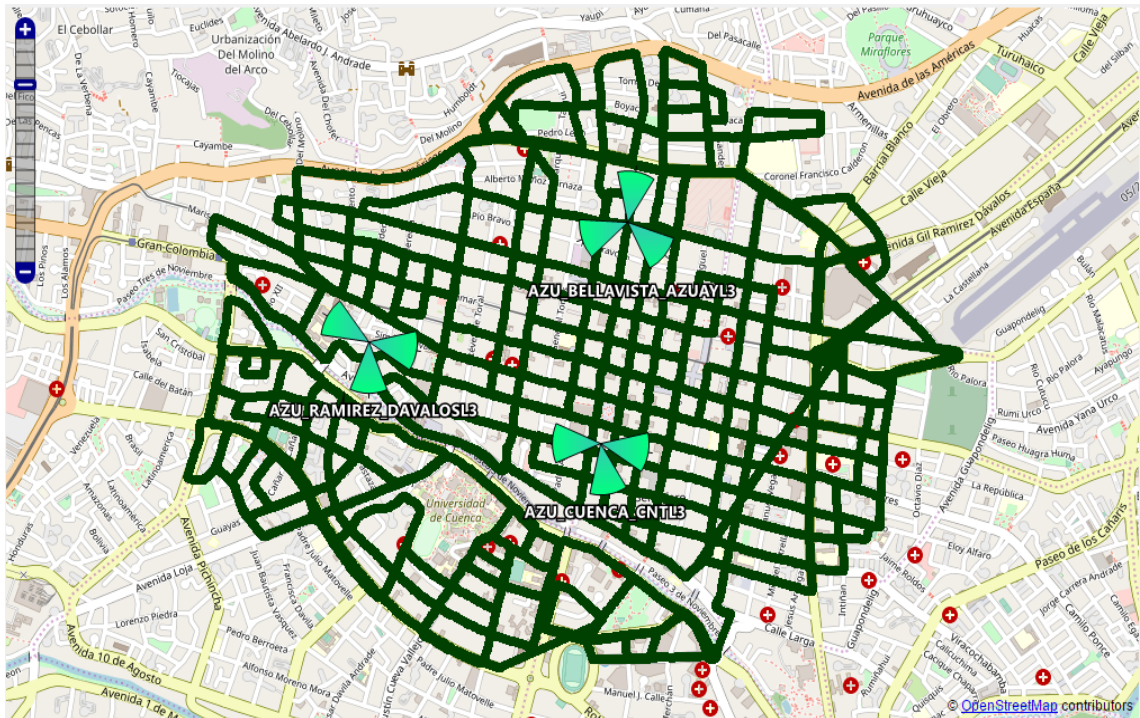
Configuración de sitios

A continuación se detalla la configuración de los tres sitios con sus respectivos sectores o celdas, la ubicación geográfica, altura de la antena y el Azimuth para los usuarios objetivos:

| Site ID | Cell ID | Sector ID | Longitute | Latitude | Provincia | Ciudad | Altura de la Antena (m) | Azimuth |
|------------------------|---------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|--------|-------------------------|---------|
| AZU_BELLAVISTA_AZUAYL3 | 1 | AZU_BELLAVISTA_AZUAYL3_1 | -2,89063 | -79,00372 | AZUAY | CUENCA | 30,8 | 10 |
| AZU_BELLAVISTA_AZUAYL3 | 2 | AZU_BELLAVISTA_AZUAYL3_2 | -2,89063 | -79,00372 | AZUAY | CUENCA | 30,8 | 130 |
| AZU_BELLAVISTA_AZUAYL3 | 3 | AZU_BELLAVISTA_AZUAYL3_3 | -2,89063 | -79,00372 | AZUAY | CUENCA | 30,8 | 250 |
| AZU_CUENCA_CNTL3 | 1 | AZU_CUENCA_CNTL3_1 | -2,89856 | -79,00475 | AZUAY | CUENCA | 48,25 | 100 |
| AZU_CUENCA_CNTL3 | 2 | AZU_CUENCA_CNTL3_2 | -2,89856 | -79,00475 | AZUAY | CUENCA | 46,75 | 170 |
| AZU_CUENCA_CNTL3 | 3 | AZU_CUENCA_CNTL3_3 | -2,89856 | -79,00475 | AZUAY | CUENCA | 46,75 | 270 |
| AZU_RAMIREZ_DAVALOSL3 | 1 | AZU_RAMIREZ_DAVALOSL3_1 | -2,8949 | -79,0136 | AZUAY | CUENCA | 31 | 100 |
| AZU_RAMIREZ_DAVALOSL3 | 2 | AZU_RAMIREZ_DAVALOSL3_2 | -2,8949 | -79,0136 | AZUAY | CUENCA | 31 | 180 |
| AZU_RAMIREZ_DAVALOSL3 | 3 | AZU_RAMIREZ_DAVALOSL3_3 | -2,8949 | -79,0136 | AZUAY | CUENCA | 31 | 300 |

Recorrido o ruta del drive test con el terminal (UE)

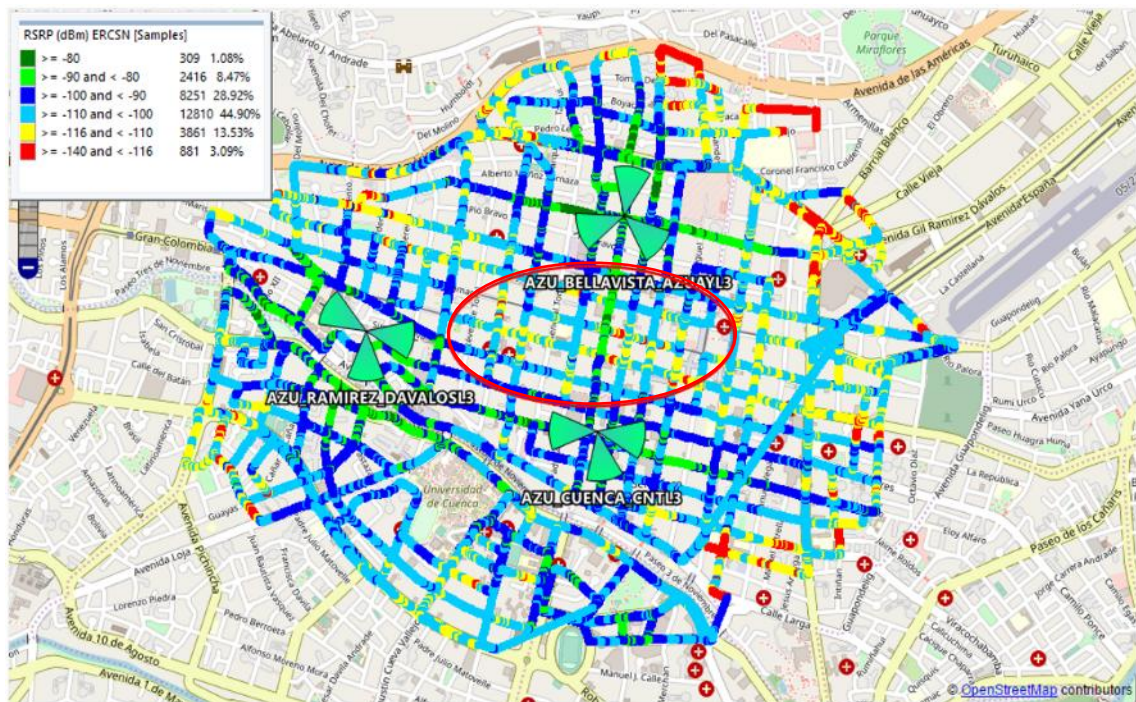
A continuación se marca en color verde el recorrido que se realizó con el equipo y los terminales de prueba, User Equipement (UE), en la zona de influencia de la ciudad de Cuenca:



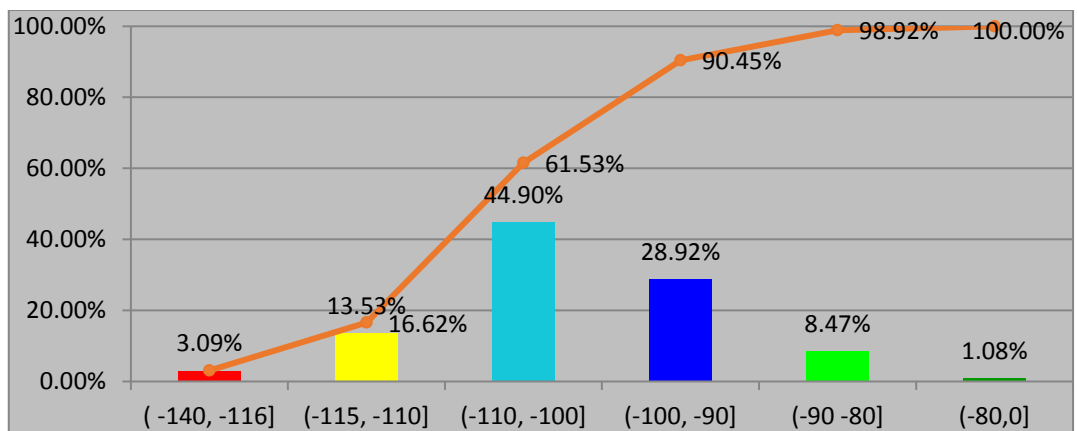
Niveles de cobertura

Los niveles de cobertura están dados por el parámetro RSCP (Reference Signals Received Power), expresado en dBm, de lo cual se observa niveles aceptables en la zona de influencia hasta los -110dBm.

En el círculo marcado en rojo, se identifica una zona sin servidor definido debido a la disposición de los azimuts del sitio AZU_CUENCA_CNT, que fueron direccionados hacia los usuarios Wimax, como se puede ver en la siguiente gráfica:



A continuación, se presenta una distribución de los niveles de cobertura aceptables que van desde los -80dBm a los -110dBm:

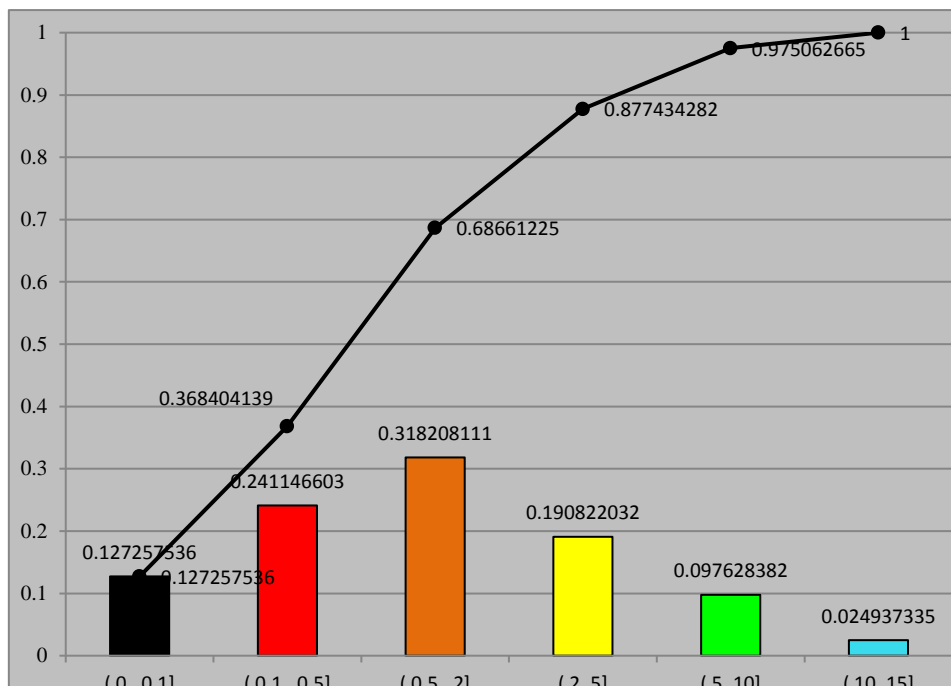
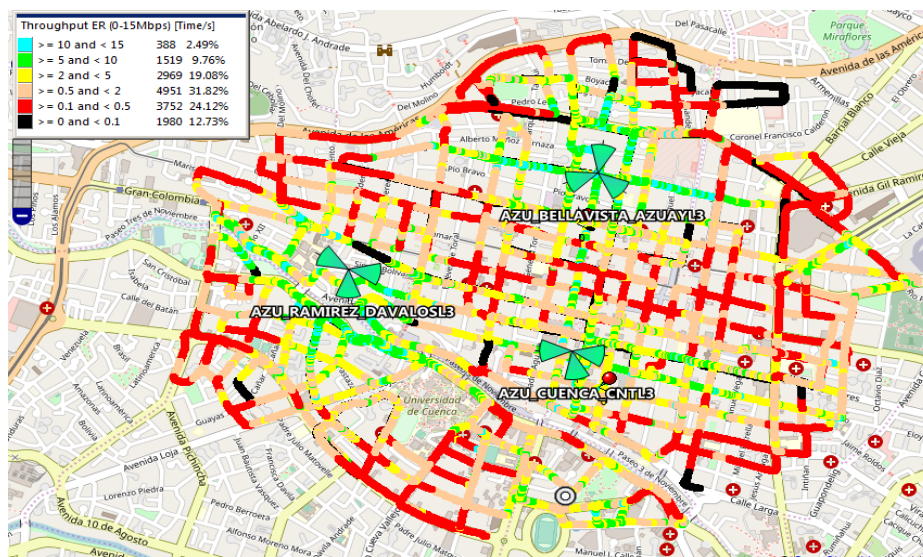


Velocidades en Uplink

A continuación el Throughput alcanzado en carga de datos expresado en Mbps:

UL THROUGHPUT

| Identificador de UE | TM3 – MU-MIMO OFF | TM8 – MU-MIMO ON |
|---------------------|-------------------|------------------|
| 1 | 6,6 | 7,8 |
| 2 | 2,0 | 1,0 |
| 3 | 1,8 | 1,7 |
| Total | 10,4 | 10,5 |



Velocidades en Downlink

A continuación el Throughput alcanzado en descarga de datos expresado en Mbps:

| DL THROUGHPUT | | |
|---------------------|-------------------|------------------|
| Identificador de UE | TM3 – MU-MIMO OFF | TM8 – MU-MIMO ON |
| 1 | 21,1 | 23,0 |
| 2 | 24,0 | 32,0 |
| 3 | 15,1 | 36,0 |
| Total | 60,3 | 91,0 |

